



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS DEFORMASI GUNUNG BROMO
AKIBAT AKTIVITAS ERUPSI PADA DESEMBER
2015 - FEBRUARI 2016 MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI *DIFFERENTIAL
INTERFEROMETRY SHYNTHETIC APERTURE
RADAR* (DInSAR)**

**IMELDA VINNY APRILLISA
NRP 0331 1440000 071**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Muhammad Taufik
Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS DEFORMASI GUNUNG BROMO
AKIBAT AKTIVITAS ERUPSI PADA DESEMBER
2015-FEBRUARI 2016 MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI *DIFFERENTIAL*
INTERFEROMETRY SHYNTHETIC APERTURE
RADAR DInSAR**

Imelda Vinny Aprillisa
NRP 03311440000071

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Muhammad Taufik
Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

**DEFORMATION ANALYSIS OF BROMO
MOUNTAIN CAUSED BY ERUPTION ACTIVITY
IN DECEMBER 2015 - FEBRUARY 2016 USING
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY
SHYNTHETIC APERTURE RADAR
TECHNOLOGY DInSAR**

Imelda Vinny Aprillisa
NRP 03311440000071

Supervisor
Dr. Ir. Muhammad Taufik
Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Environment And Geoscience
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS DEFORMASI GUNUNG BROMO AKIBAT
AKTIVITAS ERUPSI PADA DESEMBER 2015 –
FEBRUARI 2016 MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SHYNTHETIC
APERTURE RADAR DInSAR**

Nama Mahasiswa : Imelda Vinny Aprillisa
NRP : 03311440000071
Departemen : Teknik Geomatika FTLSK – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Taufik
Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil,
Ph.D

ABSTRAK

Gunung Bromo merupakan salah satu gunung berapi yang aktif di Jawa Timur. Pada Desember 2015 – Januari 2016 Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi mendeteksi adanya peningkatan aktivitas pada Gunung Bromo. Adanya aktivitas vulkanik menyebabkan adanya perubahan (deformasi) pada permukaan Gunung Bromo. Deformasi yang ada pada permukaan Gunung Bromo dapat diukur dengan berbagai teknologi, salah satunya yaitu menggunakan teknologi *DInSAR*. Dalam penelitian ini pengukuran deformasi pada permukaan Gunung Bromo dilakukan pengolahan dengan teknologi *DInSAR* menggunakan metode *two-pass* dari lima buah citra satelit Sentinel-1A bulan November 2015, Desember 2015, Januari 2016, Februari 2016, dan Maret 2016 serta *DEM SRTM* 30 meter. Hasil menunjukkan bahwa metode *two-pass* teknologi *DInSAR* dapat merefleksikan peningkatan aktivitas di Gunung Bromo untuk mengetahui deformasi permukaan dimana mayoritas deformasi terjadi pada kaldera Gunung Bromo. Dari metode ini, nilai *LOS displacement* yang dihasilkan menunjukkan bahwa terjadi maksimum

subsidence pada bulan Desember 2015 – Januari 2016 sebesar -20 mm s/d -60 mm hal ini mengindikasikan terjadinya peningkatan aktivitas pada kawah Gunung Bromo pada rentang Desember 2015 – Januari 2016. Sedangkan maksimum *uplift* terjadi pada bulan Februari 2016 – Maret 2016 sebesar 0 mm s/d 40 mm hal ini mengindikasikan jika aktivitas pada kawah Gunung Bromo sudah mengalami penurunan. Meskipun begitu untuk mengetahui besar nilai deformasi yang akurat perlu dilakukan perbandingan dengan hasil pengukuran lainnya atau pengukuran secara langsung di lapangan.

Kata Kunci : Deformasi, DInSAR, Sentinel-1A , Gunung Bromo

**DEFORMATION ANALYSIS OF BROMO MOUNTAIN
CAUSED BY ERUPTION ACTIVITY IN DECEMBER 2015 –
FEBRUARY 2016 USING DIFFERENTIAL
INTERFEROMETRY SHYNTHETIC APERTURE RADAR
TECHNOLOGY DInSAR**

Name : *Imelda Vinny Aprillisa*
NRP : *03311440000071*
Departement : *Teknik Geomatika FTLSK – ITS*
Supervisor : *Dr. Ir. Muhammad Taufik*
*Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil,
Ph.D*

ABSTRACT

Bromo mountain is one of the most active volcanoes in East Java. In December 2015 - January 2016 the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation detected increased activities on Bromo mountain. The existence of volcanic activities cause a deformations on the surface of Bromo mountain. The existing deformations on the surface of Mount Bromo can be measured with various technologies such as using DInSAR. In this study, the analysis of deformation on the surface of Mount Bromo are done by DInSAR processing using two-pass method and using five Sentinel-1A satellite imagery in November 2015, December 2015, January 2016, February 2016, and March 2016 and DEM SRTM 30 meters. The results show that the two-pass method of DInSAR can reflect the increased activities in Bromo mountain that cause the deformation of the surface where the majority of deformations occur at the caldera of Bromo mountain. From this method, the result of LOS (Line of Sight) displacement value indicates that the maximum subsidence occurred in December 2015 - January 2016 with the value -20 mm s / d -60 mm it indicates if

there were some increased activities on the crater of Bromo mountain in December 2015 to January 2016. While the maximum uplift occurred in February 2016 - March 2016 with the value 0 mm s / d 40 mm it indicates if the activities on the crater of Bromo mountain was decreasing. However, in order validate the accurate value of deformation, it is necessary to compare with other measurements or measuring directly in the field.

Keyword : Deformation, DInSAR, Sentinel-1A, Bromo mountain

**ANALISIS DEFORMASI GUNUNG BROMO AKIBAT
AKTIVITAS ERUPSI PADA DESEMBER 2015 –
FEBRUARI 2016 MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SHYNTHETIC
APERTURE RADAR DIInSAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IMELDA VINNY APRILLISA

NRP. 03311440000071

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Muhammad Taufik (Pembimbing I)
2. Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D (Pembimbing II)



SURABAYA, JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Deformasi Gunung Bromo Akibat Aktivitas Erupsi pada Desember 2015-Februari 2016 Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Shynthetic Aperture Radar* DInSAR”** ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan secara moral maupun material. Atas segala bantuan dan dukungan tersebut, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang selama pelaksanaan tugas akhir sampai pembuatan laporan ini memberikan inspirasi, semangat, kasih sayang dan seluruh dukungannya kepada penulis.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T, M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik, selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan sarannya.
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D, selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan sarannya.
5. Teman-teman Teknik Geomatika 2014 yang telah memberikan semangat selama penyelesaian tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir yang tidak dapat kami sebut satu persatu.

Penulis sangat mengharapkan saran dan masukan sebagai pembelajaran bagi penulis untuk menjadi lebih baik. Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan kepada penulis, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 6 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Deformasi	5
2.2 Gambaran Umum Gunung Bromo	7
2.3 RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>).....	8
2.4 SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>).....	11
2.5 InSAR (<i>Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>)	12
2.6 Interferogram.....	13
2.6.1 Koregistrasi Citra SAR.....	14
2.6.2 Koherensi Citra SAR.....	15
2.6.3 Faktor Koherensi	15
2.7 DInSAR (<i>Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>).....	16
2.8 Sentinel-1	17
2.9 GMT-SAR (<i>Generic Mapping Tools Synthetic Aperture Radar</i>).....	18
2.10 Tiltmeter	19
2.11 EDM (<i>Electronic Distance Measurement</i>)	20
2.12 Penelitian Terdahulu.....	21

BAB III METODOLOGI	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Data dan Peralatan	25
3.2.1 Data.....	25
3.2.2 Peralatan	29
3.3 Metodologi Penelitian.....	30
3.3.1 Tahapan Penelitian	30
3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan SAR.....	31
3.3.3 Tahapan Pengolahan SAR dengan GMT-SAR.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Hasil Pengolahan Data SAR.....	41
4.1.1 Panjang <i>Baseline</i> dan <i>Interval Waktu</i>	41
4.1.2 Interferogram <i>Phase</i> dan <i>Amplitude</i>	44
4.1.3 Koherensi Citra SAR.....	48
4.1.4 Citra Interferogram Setelah <i>Filtering</i>	54
4.1.5 Citra Interferogram Setelah <i>Unwrapping</i>	59
4.1.6 Interferogram Setelah <i>Geocode</i>	60
4.1.7 Geometri Pencitraan Studi Kasus	60
4.1.8 Nilai <i>LOS Displacement</i>	62
4.2 Analisis Nilai Deformasi Dengan Data Tiltmeter	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	99
DAFTAR PUSTAKA.....	101
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Deformasi (Inflasi dan Deflasi) Pada Gunung Api	6
Gambar 2. 2 Visual Kawah Gunung Bromo	7
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Radar	8
Gambar 2. 4 Geometri Pencitraan Radar.....	11
Gambar 2. 5 Resolusi Searah Lintasan (<i>Azimuth Resolution</i>)	12
Gambar 2. 6 Interferogram Pasangan Citra <i>ERS-1</i> dan <i>ERS-2</i>	14
Gambar 2. 7 Salah satu contoh tiltmeter model lama.....	20
Gambar 2. 8 Ilustrasi penjalaran gelombang pada metode EDM.	21
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Gunung Bromo	25
Gambar 3. 2 (a) <i>Scene</i> Data Sentinel-1A 9 November 2015; (b) <i>Scene</i> Data Sentinel-1A 27 Desember 2015	27
Gambar 3. 3 (a) <i>Scene</i> Data Sentinel-1A 20 Januari 2015; (b) <i>Scene</i> Data Sentinel-1A 13 Februari 2015	27
Gambar 3. 4 <i>Scene</i> Data Sentinel-1A 08 Maret 2015	28
Gambar 3. 5 Diagram Alir Tahapan Penelitian	30
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode <i>Two-Pass Interferometry</i>	35
Gambar 3. 7 Diagram Pengolahan Pada GMT-SAR.....	35
Gambar 3. 8 <i>Interferogram Phase</i> a) Sebelum <i>Filtering</i> ; b) Setelah <i>Filtering</i>	38
Gambar 4. 1 <i>Baseline Perpendicular</i> Pasangan Citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015	42
Gambar 4. 2 <i>Baseline Perpendicular</i> Pasangan Citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016.....	43
Gambar 4. 3 <i>Baseline Perpendicular</i> Pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016.....	43
Gambar 4. 4 <i>Baseline Perpendicular</i> Pasangan Citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016.....	44

Gambar 4. 5 Citra Interferogram (kiri) <i>Phase</i> 9 November 2015 – 27 Desember 2015; (kanan) <i>Amplitude</i> 9 November 2015 – 27 Desember 2015	45
Gambar 4. 6 Citra Interferogram (kiri) <i>Phase</i> 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016; (kanan) <i>Amplitude</i> 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	46
Gambar 4. 7 Citra Interferogram (kiri) <i>Phase</i> 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016; (kanan) <i>Amplitude</i> 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	46
Gambar 4. 8 Citra Interferogram (kiri) <i>Phase</i> 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016; (kanan) <i>Amplitude</i> 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	47
Gambar 4. 9 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015	50
Gambar 4. 10 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	50
Gambar 4. 11 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	51
Gambar 4. 12 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 13 Februari 2016 – 08 Maret 2016	51
Gambar 4. 13 Koherensi Citra Interferogram 9 November 2015 – 27 Desember 2015	52
Gambar 4. 14 Koherensi Citra Interferogram 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	52
Gambar 4. 15 Koherensi Citra Interferogram 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	53
Gambar 4. 16 Koherensi Citra Interferogram 13 Februari 2016 – 08 Maret 2016	53
Gambar 4. 17 Pasangan 9 November 2015 - 27 Desember 2015; (a) Sebelum <i>Filtering</i> ; b) Sesudah <i>Filtering</i> ; (c) Hasil <i>close-up</i> sebelum <i>filtering</i> ; (d) Hasil <i>close-up</i> setelah <i>filtering</i>	55

Gambar 4. 18 Pasangan 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016; (a) Sebelum <i>Filtering</i> ; b) Sesudah <i>Filtering</i> ; (c) Hasil <i>close-up</i> sebelum <i>filtering</i> ; (d) Hasil <i>close-up</i> setelah <i>filtering</i>	56
Gambar 4. 19 Pasangan 20 Januari 2016 - 13 Februari 2016; (a) Sebelum <i>Filtering</i> ; b) Sesudah <i>Filtering</i> ; (c) Hasil <i>close-up</i> sebelum <i>filtering</i> ; (d) Hasil <i>close-up</i> setelah <i>filtering</i>	57
Gambar 4. 20 Pasangan 13 Februari 2016 - 8 Maret 2016; (a) Sebelum <i>Filtering</i> ; b) Sesudah <i>Filtering</i> ; (c) Hasil <i>close-up</i> sebelum <i>filtering</i> ; (d) Hasil <i>close-up</i> setelah <i>filtering</i>	58
Gambar 4. 21 Citra Interferogram Setelah <i>Unwrapping</i> ; (a) 9 November 2015 – 27 Desember 2015; (b) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016; (c) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016; (d) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	60
Gambar 4. 22 Bagian yang berwarna abu-abu menunjukkan nilai <i>phase unwrapping</i> yang kosong	62
Gambar 4. 23 LOS <i>Displacement</i> 9 November 2015 – 27 Desember 2015.....	63
Gambar 4. 24 LOS <i>Displacement</i> 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016.....	64
Gambar 4. 25 LOS <i>Displacement</i> 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016.....	64
Gambar 4. 26 LOS <i>Displacement</i> 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	65
Gambar 4. 27 Peta <i>Cross-Section</i> pasangan Citra 9 November 2015 - 27 Desember 2015	66
Gambar 4. 28 Grafik <i>Cross-section</i> utara (A-B) 9 November 2015 – 27 Desember 2015.....	66
Gambar 4. 29 Grafik <i>Cross-section</i> timur (C-D) 9 November 2015 – 27 Desember 2015.....	67

Gambar 4. 30 Grafik <i>Cross-section</i> selatan (E-F) 9 November 2015 – 27 Desember 2015.....	67
Gambar 4. 31 Grafik <i>Cross-section</i> barat (G-H) 9 November 2015 – 27 Desember 2015.....	68
Gambar 4. 32 Peta <i>Cross-Section</i> pasangan Citra 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016	68
Gambar 4. 33 Grafik <i>Cross-section</i> utara (A-B) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	69
Gambar 4. 34 Grafik <i>Cross-section</i> timur (C-D) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	69
Gambar 4. 35 Grafik <i>Cross-section</i> selatan (E-F) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	70
Gambar 4. 36 Grafik <i>Cross-section</i> barat (G-H) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	70
Gambar 4. 37 Peta <i>Cross-Section</i> pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	71
Gambar 4. 38 Grafik <i>Cross-section</i> utara (A-B) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	71
Gambar 4. 39 Grafik <i>Cross-section</i> timur (C-D) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	72
Gambar 4. 40 Grafik <i>Cross-section</i> selatan (E-F) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	72
Gambar 4. 41 Grafik <i>Cross-section</i> barat (G-H) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	73
Gambar 4. 42 Peta <i>Cross-Section</i> pasangan Citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	73
Gambar 4. 43 Grafik <i>Cross-section</i> utara (A-B) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	74
Gambar 4. 44 Grafik <i>Cross-section</i> timur (C-D) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	74
Gambar 4. 45 Grafik <i>Cross-section</i> selatan (E-F) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	75

Gambar 4. 46 Grafik <i>Cross-section</i> barat (G-H) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	75
Gambar 4. 47 Grafik Sudut X-Tilt 9 November 2015.....	76
Gambar 4. 48 Grafik Sudut Y-Tilt 9 November 2015.....	76
Gambar 4. 49 Grafik Suhu 9 November 2015.....	77
Gambar 4. 50 Grafik Sudut X-Tilt 27 Desember 2015	77
Gambar 4. 51 Grafik Sudut Y-Tilt 27 Desember 2015	78
Gambar 4. 52 Grafik Suhu 27 Desember 2015	78
Gambar 4. 53 Grafik Sudut X-Tilt 20 Januari 2016.....	79
Gambar 4. 54 Grafik Sudut Y-Tilt 20 Januari 2016.....	79
Gambar 4. 55 Grafik Suhu 20 Januari 2016.....	80
Gambar 4. 56 Grafik Sudut X-Tilt 13 Februari 2016.....	80
Gambar 4. 57 Grafik Sudut Y-Tilt 13 Februari 2016.....	81
Gambar 4. 58 Grafik Suhu 13 Februari 2016.....	81
Gambar 4. 59 Grafik Sudut X-Tilt 8 Maret 2016.....	82
Gambar 4. 60 Grafik Sudut Y-Tilt 8 Maret 2016.....	82
Gambar 4. 61 Grafik Suhu 8 Maret 2016.....	83
Gambar 4. 62 Grafik Nilai Rata-rata Sudut X-Tilt.....	84
Gambar 4. 63 Grafik Nilai Rata-rata Sudut Y-Tilt.....	84
Gambar 4. 64 Grafik Nilai Rata-rata Suhu.....	85
Gambar 4. 65 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan November 2015.....	86
Gambar 4. 66 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Desember 2015.....	86
Gambar 4. 67 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Januari 2016	87
Gambar 4. 68 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Februari 2016	87
Gambar 4. 69 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Maret 2016	88
Gambar 4. 70 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan November 2015.....	88

Gambar 4. 71 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Desember 2015.....	89
Gambar 4. 72 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Januari 2016	89
Gambar 4. 73 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Februari 2016	90
Gambar 4. 74 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Maret 2016	90
Gambar 4. 75 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan November 2016	91
Gambar 4. 76 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Desember 2015.....	91
Gambar 4. 77 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Januari 2016	92
Gambar 4. 78 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Februari 2016	92
Gambar 4. 79 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Maret 2016	93
Gambar 4. 80 Grafik Nilai Perubahan BM Batok Dari Sumbu X	94
Gambar 4. 81 Grafik Nilai Perubahan BM Batok Dari Sumbu Y	94
Gambar 4. 82 Grafik Nilai Perubahan BM Bromo Dari Sumbu X	95
Gambar 4. 83 Grafik Nilai Perubahan BM Bromo Dari Sumbu Y	95
Gambar 4. 84 Grafik Nilai Perubahan BM Kursi Dari Sumbu X	96
Gambar 4. 85 Grafik Nilai Perubahan BM Kursi Dari Sumbu Y	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang Radar dan Frekuensi yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh	9
Tabel 3. 1 Data Sentinel-1A yang digunakan.....	26
Tabel 3. 2 Data <i>Precise Orbit Ephemerides</i> yang digunakan.....	28
Tabel 3. 3 Tabel 3. Spesifikasi Personal Computer 3 Tabel.....	29
Tabel 4. 1 <i>Baseline Perpendicular</i> dan Jarak Temporal	42
Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata Sudut X-Tilt, Sudut Y-Tilt, dan Suhu	83
Tabel 4. 3 Nilai Perubahan Pada BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data EDM

Lampiran 2. Grafik Data Tiltmeter Bulan Februari 2015 – Maret
2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang secara tektonik terletak diantara pertemuan tiga lempeng benua yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, serta lempeng Australia. Interaksi dari ketiga lempeng tersebut menghasilkan deretan pegunungan api (*volcanic arc*) yang membujur dari selatan hingga timur Indonesia. Terhitung sebanyak 129 buah gunung api aktif berada di Indonesia. Keberadaan gunung api tersebut tentunya memiliki dampak secara langsung terhadap lingkungan, baik itu positif atau negatif. Salah satu dampak negatifnya adalah bahaya letusan gunung api. Letusan gunung api merupakan proses naiknya material magma dari dalam bumi menuju permukaan bumi baik dikeluarkan secara eksplosif maupun *efusif* (Wismaya dan Anjasmara 2016).

Gunung Bromo merupakan salah satu gunung api yang paling aktif di Jawa Timur. Data menunjukkan, sejak tahun 1804 hingga tahun 2016, Gunung Bromo telah bererupsi lebih dari 50 kali. Aktivitas Gunung Bromo saat ini sebagai aktivitas *pasca*-kaldera yang ditandai dengan pertumbuhan kerucut lava atau *scoria* atau *cinder cone* pada dasar kaldera. Karena posisi dapur magma *pasca*-kaldera relatif lebih dangkal dengan sistem yang terbuka, maka letusan-letusan *pasca*-kaldera tidak didahului akumulasi energi yang besar sehingga letusannya tergolong letusan kecil. Umumnya letusan yang terjadi adalah letusan eksplosif yang bersifat membangun seperti *Stromolian* atau *Maar*. Periode letusan gunung api *pasca*-kaldera umumnya pendek, rata-rata 10 tahun sekali (Pratomo 2006).

Dengan pendeknya periode letusan dari Gunung Bromo menunjukkan tingginya aktivitas yang terjadi pada dapur magma, hal ini berimplikasi terhadap perubahan bentuk badan atau permukaan berupa mengembang (*inflation*) dan menyusut (*deflation*) permukaan gunung tersebut. Perubahan yang signifikan dari gunung api dapat menjadi salah satu indikator akan terjadinya

letusan, untuk itu diperlukan pengamatan deformasi dengan melihat perubahan nilai pergeseran permukaan baik dari arah vertikal maupun horizontal. Untuk pengamatan deformasi pada gunung api sendiri ada banyak metode yang dapat dilakukan seperti penggunaan GPS, DInSAR, EDM, seismometer, dan data survei geofisika lainnya untuk membantu mendeteksi dinamika kegiatan gunung api (Chang-Wook dkk. 2008), selain itu dapat menggunakan teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api (Rivera, Amelung, dan Eco 2016).

DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknik berbasis radar yang mengeksploitasi informasi yang ada pada fase, setidaknya dua citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang diperoleh pada daerah yang sama, pada waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran deformasi pada suatu daerah (Hanssen 2001). Terdapat beberapa penelitian deformasi tentang gunung api, salah satunya dengan menggunakan teknologi InSAR pada Gunung Merapi (Yudha dkk. 2011). Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini akan mengolah citra satelit Sentinel-1A dengan menggunakan teknologi DInSAR untuk mendapatkan besarnya deformasi di Gunung Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

- a. Bagaimana deformasi (inflasi atau deflasi) di Gunung Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016 ?
- b. Berapa nilai rata-rata deformasi berdasarkan LOS di Gunung Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016 dengan teknologi DInSAR ?
- c. Bagaimana pengaruh hasil olahan data Tiltmeter terhadap nilai rata-rata deformasi hasil pengolahan DInSAR ?
- d. Bagaimana pengaruh hasil olahan data EDM (*Electronic Distance Measurement*) terhadap nilai rata-rata deformasi hasil pengolahan DInSAR ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini antara lain:

- a. Lingkup tugas akhir terbatas hanya di kawasan Gunung Api Bromo.
- b. Mengetahui besar nilai deformasi (inflasi atau deflasi) di Gunung Api Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016 berdasarkan LOS.
- c. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu citra satelit Sentinel-1A bulan November 2015 - Maret 2016.
- d. Teknik yang digunakan yaitu DInSAR dengan metode *two-pass interferometry* sebagai analisis deformasi di Gunung Bromo.
- e. Menggunakan DEM SRTM 30 m untuk mereduksi efek topografi pada fase interferogram.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui wilayah yang mengalami deformasi (inflasi atau deflasi) akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016.
- b. Mendapatkan nilai rata-rata deformasi berdasarkan LOS di Gunung Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016 menggunakan teknologi DInSAR.
- c. Mengetahui pengaruh hasil olahan data Tiltmeter terhadap nilai rata-rata deformasi yang diperoleh dari hasil pengolahan DInSAR.
- d. Mengetahui pengaruh hasil olahan data EDM terhadap nilai rata-rata deformasi yang diperoleh dari hasil pengolahan DInSAR .

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai informasi mengenai gambaran kinerja teknologi DInSAR dalam studi pengamatan deformasi di Gunung Api Bromo.
- b. Dapat memberikan informasi mengenai karakteristik gunung api sebelum dan setelah mengalami erupsi.

BAB II

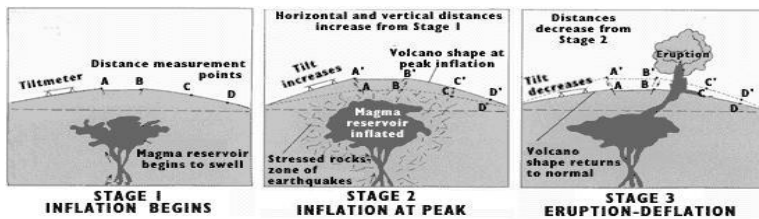
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, dan/atau ukuran suatu tubuh sebagai respons terhadap gaya (*force*) yang diterapkan. Selain itu deformasi juga berarti perubahan posisi (*translation*) dan orientasi (*rotation*). Gaya (*forces*) yang dimaksud, di dalamnya termasuk *body forces*, misalkan gravitasi, dan *surfaces forces*, misal *hidrostatic*. Objek dari deformasi terdiri dari rotasi bumi, abrasi, proses geologi lokal, *ocean loading*, pelapukan, erosi, *subsidence*, longsor, tsunami, tektonik lempeng, pasang surut, atmosferik, proses hidrologi. Jenis dari deformasi dapat dibagi menjadi dua yakni deformasi statik yang bersifat permanen, dan deformasi sesaat yang bersifat sementara atau dinamis (Anjasmara 2013).

Suatu titik atau objek dikatakan bergerak secara absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan titik atau objek tersebut dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem referensi (absolut atau relatif) (Andreas 2007).

Untuk mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat atau objek diperlukan suatu survei atau pengamatan, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika adalah survei *geodetic* yang digunakan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi menjadi 2, yaitu fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, gempa bumi dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, dan lain sebagainya. Gunung berapi akan mengalami perubahan tergantung dari besar letusan dan material yang dikeluarkan saat meletus.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Deformasi (Inflasi dan Deflasi) Pada Gunung Api

(Sumber: Abidin, 1998)

Deformasi permukaan pada gunung api adalah perubahan pada bentuk yang dapat terjadi sebelum saat dan sesudah terjadinya erupsi. Pergerakan permukaan dapat terjadi sebagai respons dari arus bahan (magma) dan cairan hidrotermal atau magmatik pada gunung api. Peningkatan deformasi permukaan pada gunung api merupakan tanda mulainya erupsi baru. Prinsip dasar permukaan tanah adalah ketika gunung api yang akan meletus menunjukkan peningkatan tekanan di dapur magma dan tekanan ini bisa menyebabkan gunung api tersebut mengembang (inflasi) dan apabila tekanan tersebut turun setelah meletus maka gunung api akan menunjukkan gejala mengempis (deflasi) (Rusydy 2012).

Biasanya besarnya nilai deformasi sangat kecil, pada kisaran *centimeter* atau kurang dan dapat dideteksi dengan alat yang sangat sensitif. Pada prinsipnya, perubahan deformasi untuk gunung berapi dipantau dengan melihat perubahan bentuknya, sehingga dapat diperkirakan letak letusan, letak kerusakan letusan tersebut, serta besar penurunan tanahnya (Abidin 2000).

Perubahan permukaan ini dapat dipantau dengan berbagai metode, salah satunya dengan metode penginderaan jauh dengan memanfaatkan metode interferometri dari data radar. Metode lainnya adalah metode pengamatan posisi menggunakan alat GPS; pengamatan perubahan jarak antar dua titik menggunakan EDM atau dengan menggunakan *tilt-meter*. Indikasi perubahan permukaan bumi dikombinasikan dengan pengamatan visual dan

instrumental lainnya (misalnya *seismometer*) memungkinkan analisa kondisi suatu gunung api menjadi lebih lengkap dan akurat. Hal ini membantu dalam pengambilan keputusan untuk perlu tidaknya evakuasi dilakukan apabila terdapat peningkatan aktivitas kegunungapian.

2.2 Gambaran Umum Gunung Bromo

Gunung Bromo merupakan sebuah gunung berapi aktif yang terletak di Jawa Timur. Gunung ini memiliki ketinggian mencapai 2.329 meter di atas permukaan laut dan berada pada empat wilayah kabupaten meliputi Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Lumajang, dan Kabupaten Malang.

Bentuk tubuh Gunung Bromo bertautan antara lembah dan ngarai dengan kaldera atau lautan pasir seluas sekitar 10 kilometer persegi. Gunung Bromo mempunyai sebuah kawah dengan garis tengah ± 800 meter (utara-selatan) dan ± 600 meter (timur-barat). Sedangkan daerah bahayanya berupa lingkaran dengan jari-jari 4 km dari pusat kawah Bromo. Gunung tersebut memiliki karakteristik atau model erupsi kecil. Jika terjadi letusan, material yang dimuntahkan Bromo berupa pasir dan abu dengan kisaran radius 6 sampai 10 kilometer.



Gambar 2. 2 Visual Kawah Gunung Bromo
(Sumber: ESDM, 2016)

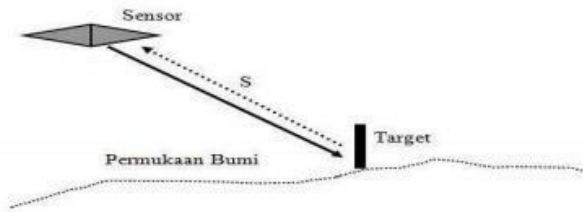
Erupsi Gunung Bromo yang terjadi pada masa lalu, dan saat ini tidak terlepas dari sejarah pembentukan kompleks Gunung Tengger itu sendiri. Rekaman erupsi dalam kurun waktu pendek

adalah catatan erupsi yang terjadi dalam catatan manusia, dan pertama kali dicatat adalah erupsi bulan September 1804.

Catatan erupsi Gunung Bromo yang dimulai 1804 sampai sekarang menginformasikan bahwa Gunung Bromo merupakan gunung api yang sangat aktif dengan tenggang waktu istirahat antara erupsi yang satu dengan erupsi lainnya hanya berlangsung beberapa bulan sampai paling lama 16 tahun. Periode erupsi dapat berlangsung hanya satu hari dan paling lama empat bulan. Periode erupsi yang lama ini terjadi pada bulan September 1995 dan berakhir bulan Desember 1995 dan hanya berupa hembusan abu berwarna abu-abu, yang endapannya tidak terlalu tebal. Semakin lama jeda waktu istirahat maka erupsi selanjutnya akan terjadi lebih besar seperti yang terjadi pada tahun 1995 (Bronto 2010).

2.3 RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

RADAR adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pengerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung ada radiasi matahari (Sari 2014).



Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Radar
(Sumber : Haniah 2011)

Radar bekerja pada gelombang elektromagnetik berupa gelombang radio dan gelombang mikro, dengan panjang gelombang beberapa milimeter hingga satu meter. Gelombang radio dan gelombang mikro tersebut dipancarkan ke seluruh permukaan bumi dan pantulannya terdeteksi oleh sistem radar yang selanjutnya

digunakan untuk mendeteksi objek seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3. Sehingga dengan demikian sistem ini sering disebut dengan penginderaan jauh aktif (Haniah 2011). Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa *band* saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombangnya (Tomiyaama 2010).

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang Radar dan Frekuensi yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh

Gelombang (band)	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
Ka	1,11- 0,75	27-40
K	1,67-1,11	18-27
Ku	2,50-1,67	12-18
X	3,75-2,50	8-12
C	7,5-3,75	4-8
S	15-7,5	2-4
L	30-15	1-2

(Sumber : *IEEE Standard Radar Band* 2002)

Besar kecilnya panjang gelombang elektromagnetik mempengaruhi terhadap penetrasi gelombang tersebut pada objek di permukaan bumi. Semakin besar panjang gelombang yang digunakan maka semakin kuat daya penetrasi gelombang tersebut.

Polarisasi pada sinyal radar menandai orientasi gelombang elektromagnetik yang di transmisikan dan diterima oleh antena. Sistem radar dapat di konfigurasi untuk mentransmisikan baik polarisasi secara horizontal atau vertikal dan untuk menerima baik polarisasi secara horizontal atau vertikal yang dikembalikan oleh objek di permukaan tanah.

Biasanya pencitraan radar mentransmisikan polarisasi secara horizontal dan menerima gema polarisasi secara horizontal juga dari permukaan bumi sehingga menghasilkan polarisasi HH atau dapat disebut juga *like-polarized image*. Tetapi ada beberapa radar yang didesain untuk mentransmisikan sinyal polarisasi secara horizontal tetapi secara terpisah menerima polarisasi secara vertikal dari permukaan bumi atau dapat disebut juga polarisasi HV

atau *cross-polarized image* (Campbell dan Wynne 2011 : 214-215).

Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem radar memiliki empat polarisasi, yaitu : HH (horizontal-horizontal), VV (vertikal-vertikal), HV(horizontal-vertikal), VH (vertikal-horizontal).

Ketika wahana memancarkan radar, memiliki bentuk geometri tersendiri yang dapat dilihat pada gambar 2.4. Berikut ini adalah faktor-faktor geometri pada pencitraan radar (Haniah 2011) :

a. *Incidence Angle*

Incidence angle merupakan sudut yang dibentuk antara pancaran gelombang radar dengan garis yang tegak lurus terhadap permukaan objek.

b. *Depression Angle*

Depression angle adalah sudut yang dibentuk dari arah horizontal ke arah garis pancaran gelombang radar.

c. *Look Angle*

Look Angle merupakan sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.

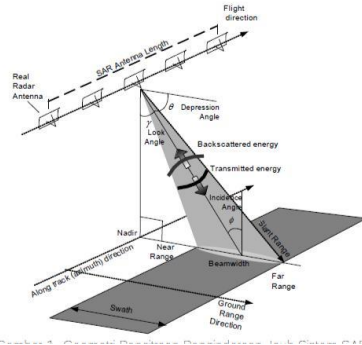
d. *Look Direction*

Look direction merupakan arah antenna saat melakukan pencitraan.

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga terjadi distorsi, diantaranya (Indra 2011) :

a. *Foreshortening* (pemendekan)

Foreshortening mengakibatkan proyeksi objek hasil pencitraan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan panjang yang sebenarnya. Distorsi ini bergantung pada *look angle* dari radar, semakin besar *look angle* maka efek *foreshortening* akan semakin kecil.



Gambar 2. 4 Geometri Pencitraan Radar
(Sumber : Sambodo dan Musyarofah 2011)

b. *Shadow*

Shadow terjadi akibat tidak adanya gelombang pantul yang diterima kembali oleh radar. Ketiadaan gelombang pantul tersebut dikarenakan gelombang yang dipancarkan radar tidak mengenai permukaan akibat terhalang oleh suatu objek. *Shadow* biasanya ditandai adanya bagian yang tampak gelap pada citra.

c. *Layover*

Layover mengakibatkan titik atau objek yang jauh menjadi lebih dekat dengan sensor radar. *Layover* umumnya terjadi pada objek yang lebih tinggi dibandingkan objek didepannya. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang dipantulkan oleh objek yang lebih tinggi akan diterima terlebih dahulu oleh sensor radar.

2.4 SAR (Synthetic Aperture Radar)

SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. Resolusi SAR dibagi menjadi dua hal, yaitu sebagai berikut (ESA 2000):

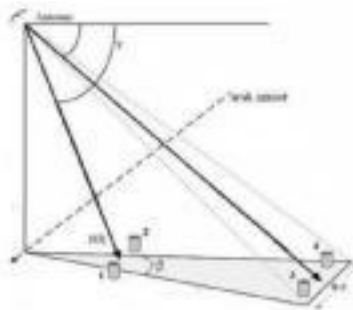
a. *Range Resolution* (Resolusi Melintang Lintasan)

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwidth* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin

lebar *bandwidth* maka resolusi *range* semakin baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek.

b. *Azimuth Resolution* (Resolusi Searah Lintasan)

Resolusi pada arah azimuth (α) merupakan resolusi yang sejajar dengan arah terbang wahana. Dengan kata lain yaitu kemampuan dari radar untuk membedakan objek yang berlainan yang searah lintasan wahana. Resolusi searah azimuth tergantung pada lebar sorot (β) dari gelombang mikro yang dipancarkan dan jarak dari wahana ke objek.



Gambar 2. 5 Resolusi Searah Lintasan (*Azimuth Resolution*)
(Sumber : Haniah 2011)

2.5 InSAR (*Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

InSAR merupakan suatu teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengekstreksi informasi tiga dimensi dari permukaan bumi dengan pengamatan fase gelombang radar (Haniah 2011). Menurut (Ismullah 2004), citra SAR yang akan diolah secara interferometri, khususnya dari satelit sering disebut dengan citra kompleks atau SLC (*Single Look Complex*), yang mana dalam tiap *pixel*-nya tersusun atas informasi amplitudo (A) dan *phase* (ϕ):

a. Amplitudo

Tampilan gambar pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran amplitudo dari adanya sistem radar. Amplitudo menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh *transmitter*. Semakin kuat hamburan, maka semakin

terang area pada citra radar, hal tersebut menunjukkan objek dengan permukaan yang kasar. Sedangkan semakin lemah hamburan maka semakin gelap area pada radar yang berarti menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus. Saat gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, maka pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan dengan gelombang yang dipancarkan. Faktor kekerasan permukaan juga mempengaruhi terhadap gelombang pantul yang dipancarkan.

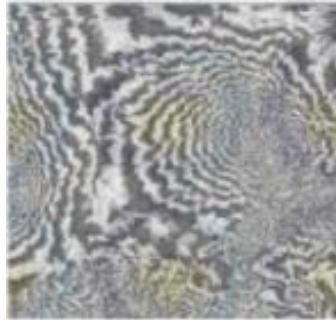
b. *Phase*

Phase merupakan kondisi osilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh 2π (Ismullah 2004). Ketika titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor SAR. *Phase* berhubungan dengan dua jalur sinyal dari radar dan *resolution cell*. *Resolution cell* berisi ribuan pantulan objek radar yang memiliki nilai berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tiap objek seperti perbedaan panjang *range*, tingkat konduktifitas objek yang menghasilkan perbedaan acak dari suatu *phase*. Hal tersebut mengakibatkan *pixel* pada citra radar akan menampilkan *noise*. Untuk mendapatkan informasi bentuk geometri objek yang baik, perlu diminimalisir efek *noise* dengan mengkombinasikan beberapa citra radar (Massonet dan Feigl 1998).

2.6 Interferogram

Dalam melakukan proses InSAR diperlukan dua data citra SAR untuk menghitung beda fase dari dua data tersebut, dimana hasil dari proses InSAR divisualisasikan dalam bentuk interferogram yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Pada interferogram terlihat garis-garis tepi yang disebut *fringes*. *Fringes* menunjukkan rentang fase antara 0 - 2π dalam bentuk warna.

Gambar 2.6 menunjukkan antara warna yang pertama dengan warna yang sama berikutnya (misalnya dari awal hitam ke awal hitam berikutnya, atau dari awal putih ke awal putih berikutnya), perbedaan yang terjadi adalah sebesar 2π (Ismullah 2004).



Gambar 2. 6 Interferogram Pasangan Citra *ERS-1* dan *ERS-2*
(Sumber : Ismullah 2004)

2.6.1 Koregistrasi Citra SAR

Dalam tahap ini merupakan tahap yang sangat penting dan dalam waktu yang cukup lama. Tahap awal ini sangat berpengaruh terhadap hasil interferogram.

Terdapat 2 hal penting dalam proses koregistrasi citra, diantaranya:

a. Koregistrasi Citra Kompleks

Salah satu citra kompleks yang setiap *pixel*-nya mempunyai harga dalam bilangan kompleks adalah citra SAR. Jika terdapat dua buah citra SLC dengan objek yang sama, maka informasi fase dari kedua citra tersebut dapat dikombinasikan. *Pixel* kompleks dapat digambarkan sebagai suatu vektor, dimana panjang vektor menyatakan amplitudo (A) sedang arah/ orientasinya menyatakan fase (Φ).

b. Parameter Koregistrasi

Terdapat nilai parameter utama dalam tahap koregistrasi yaitu translasi, skala, rotasi, dan kemiringan. Nilai parameter tersebut akan berpengaruh terhadap koordinat dari citra tersebut.

2.6.2 Koherensi Citra SAR

Koherensi (korelasi) antara kedua citra juga harus diperhitungkan dalam proses pembentukan data interferogram. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Dimana persyaratan yang diberikan oleh ESA, nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan Digital adalah 0,20. Untuk penelitian mengenai deformasi pada permukaan gunung api nilai batas koherensi yang digunakan yaitu 0,7 berdasarkan beberapa penelitian mengenai deformasi gunung api yang telah dilakukan sebelumnya (Rivera dkk. 2016 ; Gourmelen dkk. 2010 ; Chaussard dan Amelung 2012) tetapi batas nilai koherensi 0,4 juga dapat diterapkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bagnardi dan Amelung (2012).

2.6.3 Faktor Koherensi

Menurut (Adragna dkk. 2008), lihat juga pada Yulyta (2015) dalam nilai koherensi dipengaruhi oleh 4 dekorelasi yaitu:

a. Dekorelasi Waktu

Data yang diperoleh secara tidak bersamaan yang diperoleh secara tidak bersamaan, menyebabkan hilangnya koherensi citra atau menurunnya kualitas fase (interferogram) karena perubahan temporal, seperti : perubahan reaksi vegetasi, pergerakan permukaan air secara terus menerus, erosi tanah, dan aktivitas manusia.

b. Dekorelasi Geometri

Jika dua akuisisi data diperoleh dari kondisi geometri yang sama dan reflektornya tidak bergeser, maka jumlah reflektor akan sama (nilai *phase* juga sama). Namun jika kondisi geometri dua akuisisi berubah maka jumlah reflektor akan berbeda, dan fase akan termodifikasi. Karena terdapat pemancaran gelombang yang bermacam-macam, maka frekuensi yang dibawa juga akan bervariasi. *Shift frequency* (pergeseran frekuensi) antar dua akuisisi diperoleh dari dua kejadian yang berbeda.

c. Dekorelasi Atmosfer

i. Lapisan *Troposfer*

Jika indeks bias lebih tinggi dari 1, maka kecepatan lintas gelombang akan semakin rendah dari kecepatan cahaya, yang mana terjadi pemanjangan gelombang. Efek *troposfer* memperpanjang gelombang sehingga menimbulkan kesalahan dalam penentuan jarak.

ii. Lapisan *Ionosfer*

Penyimpangan kerapatan elektron pada lapisan *ionosfer* (F) membuat lintasan garis edar memendek. Penyimpangan *ionosfer* berkaitan dengan pembentukan awan, gelembung *ionosfer*, lebih umumnya karena variasi uap air pada *troposfer*.

d. Dekorelasi Suhu

Menurut Hanssen (2001) pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai SNR (*Signal Noise to Ratio*). SNR merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang diterima oleh antenna.

2.7 DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

Salah satu teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan deformasi permukaan tanah adalah DInSAR. DInSAR menggunakan pasangan gambar SAR yang diakusisi pada waktu yang berbeda dan posisi yang berbeda oleh satelit. Dengan mengetahui posisi satelit dan permukaan topografi memungkinkan untuk substraksi komponen fase topografi dan mengukur deformasi (Mura dkk. 2014).

Teknik DInSAR diaplikasikan untuk memperoleh deformasi jangka panjang serta mengukur jangka pendek dari perubahan deformasi pada permukaan gunung berapi (Papageorgiu, Fournelis, dan Parcharidis 2012). Berdasarkan metode DInSAR terbagi atas 3 jenis yaitu *Two-Pass Interferometry*, *Three-Pass Interferometry*, *Four-Pass Interferometry* (Ferretti dkk. 2007).

a) *Two-Pass Interferometry*

Metode *Two-Pass Interferometry* merupakan metode yang menggunakan dua buah citra SAR dan DEM. Citra SAR tersebut akan digunakan untuk mendapatkan interferogram, sedangkan DEM digunakan untuk menghilangkan pengaruh topografi pada fase interferogram. Metode ini menggunakan model elevasi DEM eksternal yang dikonversikan ke dalam koordinat radar. Kesalahan yang terdapat pada data DEM ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan DInSAR. Dengan kata lain, semakin baik kualitas DEM yang digunakan, maka semakin baik pula citra DInSAR yang dihasilkan.

Pada metode ini bisa menggunakan lebih dari dua citra SAR. Jika menggunakan 3 buah citra SAR maka akan ada dua pasangan citra SAR, pasangan pertama menggunakan citra SAR 1 dan 2, pasangan kedua menggunakan citra SAR 2 dan 3 (Yudha dkk. 2011)

b) *Three-Pass Interferometry*

Metode ini membutuhkan pasangan topografi yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan, sehingga tidak ada unsur *subsidence* didalam model topografi itu atau dianggap tidak memiliki kesalahan *subsidence*. Kemudian dibutuhkan pasangan topografi yang masih dipengaruhi oleh *subsidence* yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 3 yang memiliki selisih temporal yang cukup berjauhan. Pasangan citra ini selanjutnya diproses untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan DInSAR.

c) *Four-Pass Interferometry*

Secara umum metode ini hampir sama dengan *Three-Pass Interferometry*, namun pada metode ini digunakan empat buah citra dari empat akuisisi data yang berbeda. Interferogram hasil kombinasi empat buah citra inilah yang akan digunakan pada proses *differencing*.

2.8 Sentinel-1

ESA Sentinel akan menjadi seri pertama dari operasi satelit yang bertemu dengan pengamatan bumi oleh EU (*European Union*) ESA *Global Monitoring for Environment and Security Programme* (GMES). *Sentinel-1* merupakan produk pertama dari ESA Sentinel.

ESA mengembangkan *Sentinel-1 European Radar Observatory*, yang memiliki sistem orbit pada kutub untuk aplikasi SAR. Kumpulan dari dua satelit radar *band-C* akan menyediakan secara kontinyu citra pada siang/malam hari untuk layanan pengguna, terutama yang diidentifikasi dalam layanan GMES ESA pada proyek yang danaan oleh EU *Framework Programmes*.

Satelit *Sentinel-1* dibangun oleh *industrial consortium* yang diketuai oleh *Thales Alenia Space Italy* sebagai kontraktor utama, dengan *Astrium Germany* yang bertanggung jawab untuk *payload band-C*. Satelit didasarkan pada PRIMA (*Piattaforma Italiana Multi Applicativa*) dengan misi khusus modul *payload*.

Sentinel-1 memiliki 4 *mode* standar operasional yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya :

- *Mode Strip Map*, *swath* 80 km dan resolusi spasial 5x5 m.
- *Interferometric Wide Swath Mode*, *swath* 250 km, resolusi spasial 5 x 20 m, dan sinkronisasi *interferometry*.
- *Extra-Wide Swath Mode*, *swath* 400 km dan resolusi spasial 25 x 100 m (3-looks).
- *Wave Mode*, *low data rate* dan resolusi spasial 5 x 20 m. Contoh gambar pada 20 x 20 km pada interval 100 km sepanjang orbit.

Untuk *wave mode*, *Sentinel-1* memiliki *single polarisation* (VV / HH) dan untuk mode lainnya memiliki *dual polarisation* (VV+VH atau HH+HV). *Sentinel-1* didesain untuk aplikasi pada resolusi medium pada mode utama : *wide swath* (250 km) dan medium resolusi (5 x 20 m) (ESA 2013).

2.9 GMT-SAR (*Generic Mapping Tools Synthetic Aperture Radar*)

GMT-SAR merupakan *software open source* (GNU General Public License) yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan muka tanah melalui aplikasi geodesi InSAR (*Interferometry*). GMT-SAR dapat dijalankan dengan *platform* apa saja yang telah terpasang *software* GMT dan NetCDF (*Network Common Data Form*). Program ini dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>. Sedangkan untuk data orbit citra satelit dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/tar/ORBITS.tar>.

Pembuat *software* ini adalah David Sandwell, Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Xiaohua Xu, Meng Wei, dan Paul Wessel. Semula bahasa pemrograman yang digunakan adalah Fortran kemudian ubah menjadi bahasa C agar dapat dijalankan di berbagai *platform*. Terdapat tiga komponen utama:

1. *Pre-processor*, digunakan untuk mengkonversi format data CEOS ke format data turunan.
2. *InSAR processor*, melakukan pengolahan InSAR seperti memfokuskan dan menata citra, mengkonversi data topografi menjadi data *phase*, dan membentuk interferogram kompleks.
3. *Post-processor*, mayoritas menggunakan GMT seperti menyaring interferogram, membentuk produk, interferogrametik *phase*, koherensi, beda *phase*, pergeseran LOS (*Line of Sight*) dalam sistem koordinat radar dan geografis. GMT digunakan untuk menampilkan semua produk tersebut dalam *postscript* dan citra kml untuk *Google Earth* (Topex, 2016).

2.10 Tiltmeter

Tiltmeter merupakan alat pengukur deformasi gunung yang berfungsi untuk mendeteksi pengembangan atau pengempisan tubuh gunung. Tiltmeter juga digunakan untuk mengukur kemiringan pada suatu struktur di permukaan. Alat ini dapat dipakai untuk memonitoring pergerakan magma pada gunung api yang dapat mengakibatkan deformasi di permukaan akibat desakan magma. Alat ini secara maksimal digunakan 1 pasang. Yang

terletak saling berseberangan pada kawah. Sehingga perbedaan posisi antara tiltmeter dapat dihitung dengan akurat. Pengiriman data yang dilakukan oleh tiltmeter yaitu menggunakan radio pancar yang terhubung dengan pos pengamatan gunung api yang terdekat. Sehingga data tiltmeter dapat dimonitor secara berkala pada pos pengamatan gunung api yang ada. Perangkat tiltmeter sendiri terdiri dari tiga komponen utama, yaitu Pelat tiltmeter, *Portable tiltmeter*, dan *Readout Unit*.



Gambar 2. 7 Salah satu contoh tiltmeter model lama.
(Sumber : Abidin 2004)

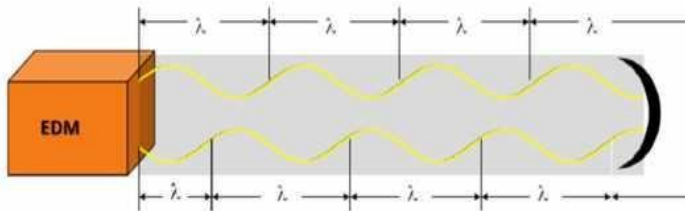
Struktur yang dipandang perlu untuk dilakukan pengukuran dengan metode tiltmeter adalah struktur yang secara visual telah menunjukkan adanya perubahan posisi secara horizontal atau vertikal agar dapat diketahui intensitas gerakannya.

Untuk kasus sebuah gunung berapi, biasanya para ilmuwan akan memasang tiltmeter di banyak titik, mulai dari kaki gunung hingga dataran-dataran tinggi yang diperkirakan sebagai jalur aliran lava (AGI 2007).

2.11 EDM (*Electronic Distance Measurement*)

EDM merupakan alat ukur jarak elektronik yang menggunakan gelombang elektromagnetik berupa sinar inframerah sebagai gelombang pembawa sinyal pengukuran dan dibantu

dengan sebuah reflektor berupa prisma sebagai target yaitu alat pemantul sinar inframerah agar kembali ke EDM. EDM dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe menggunakan gelombang mikro atau gelombang radio, disebut *Microwave Distance Measurement* (MDM), dan tipe yang menggunakan gelombang cahaya, disebut *Electrooptic Distance Measurement* (EDM). Pada umumnya tipe MDM mempunyai jangkauan yang cukup jauh, hingga beberapa puluh kilo meter, dengan pemantauan atau reflektor aktif sedangkan tipe EDM mempunyai jarak jangkauan yang lebih pendek, dari beberapa puluh kilo meter sampai beberapa kilo meter dan menggunakan reflektor pasif, sehingga EDM lebih cocok untuk pengukuran-pengukuran relatif pendek yang umumnya terkait survei rekayasa. EDM berbentuk kecil dan ringan sehingga dapat dipasang diatas theodolite, sehingga pengukuran sudut dan jarak dapat dilakukan secara bersamaan sebagaimana takheometer biasa (Abidin 2004).



Gambar 2. 8 Ilustrasi penjalaran gelombang pada metode EDM.
(Sumber : Abidin 2004)

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan menggunakan teknik DInSAR untuk deformasi pada gunung api telah dilakukan pada beberapa studi kasus. Diantaranya yaitu analisis deformasi permukaan Gunung Raung menggunakan DInSAR berdasarkan erupsi 28 juni 2015 (Rani, 2017), penggunaan teknik DInSAR pada Gunung Merapi tahun 2010 (Maraden 2012) dari ITB, penggunaan teknik InSAR pada Gunung Batur (Kusman 2008) ITB, penggunaan teknologi *InSAR* pada Gunung Merapi (Yudha dkk. 2011) ITS.

Pada penelitian yang dilakukan Rani (2017) informasi deformasi pada Gunung Raung diperoleh dengan membuat *cross section* pada hasil pengolahan DInSAR dan juga menganalisis perbandingan hasil pengolahan menggunakan dua metode yaitu *two-pass* dan *three-pass*.

Pada penelitian yang di lakukan Maraden (2012) informasi deformasi pada Gunung Merapi diperoleh dengan cara mereduksi semua informasi selain deformasi pada interferogram. DEM Global SRTM 30 m digunakan untuk mengeliminasi efek topografi dalam interferogram melalui serangkaian proses DInSAR.

Interferogram yang terbentuk dari beberapa pasang data ALOS PALSAR digunakan untuk membentuk DEM dengan resolusi yang lebih baik dari DEM Global SRTM 30 m. Data ini kemudian digunakan sebagai pembanding pada proses DInSAR. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa peta deformasi yang didapatkan dengan menggunakan DEM yang diturunkan dari SAR dan DEM Global SRTM 30 m menghasilkan pola deformasi yang sama namun memiliki resolusi serta ketelitian yang berbeda. Selain itu juga didapatkan bahwa adanya inflasi yang terjadi pada Gunung Merapi sebelum terjadinya erupsi dan setelah erupsi masih terdapatnya inflasi yang relatif lebih rendah dibandingkan sebelum terjadinya erupsi.

Sedangkan penelitian yang dilaksanakan oleh Kusman (2008) mengambil studi kasus Gunung Batur. Metode pengolahan yang dilakukan untuk mendapatkan deformasi yaitu dengan *differential interferometry*, dengan metode *two-pass interferometry* yang menggunakan data eksternal DEM sebagai salah satu interferogramnya untuk penghapusan unsur topografi. Data yang digunakan dalam pengolahan ini adalah citra SAR *ERS-1* dan *ERS-2* sebanyak 15 data, dengan perekaman dari tahun 1996 sampai 2001. Hasilnya diperoleh model deformasi tahun 1996-2000 dari hasil pengolahan pasangan citra 19960423-19960424 dengan menginformasikan kenaikan (inflasi) muka gunung api sebesar 0,04-0,1 meter, juga diperoleh model deformasi tahun 1998-2000 dari hasil pengolahan pasangan citra 19980114-20000119 dengan

menginformasikan penurunan (deflasi) muka gunung api sebesar 0,01-0,02 meter.

Penelitian pada Gunung Merapi lainnya juga dilakukan oleh Yudha (2011) dengan menggunakan data sebelum letusan (16 Juni 2010), saat letusan (16 September 2010) dan sesudah letusan (1 November 2010). Ketiga data yang tersedia kemudian ditentukan pasangannya dan diolah menggunakan metode *Two-Pass Interferometry*.

Pada pasangan citra tanggal 16 Juni 2010 dan 16 September 2010, didapatkan informasi berupa naiknya muka tanah di sekitar puncak Gunung Merapi sebesar 4 cm dengan luas 1,400312 km². Sedangkan pada pasangan citra 16 September 2010 dan 1 Nopember 2010 didapatkan informasi naiknya muka tanah sebesar 2 cm untuk area yang lebih besar dibandingkan pada pasangan citra sebelumnya yaitu dengan luas 64,709913 km². Pada daerah sampel 1 dengan koordinat (422758 ; 9163604) m sampai (424510; 9164577) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 0,4 cm. Daerah sampel 2 dengan koordinat (422710 ; 9149199) m sampai (424778 ; 9160489) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 1,7 cm serta daerah sampel 3 dengan koordinat (425387 ; 9164528) m sampai (426652 ; 9161924) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 0,3 cm.

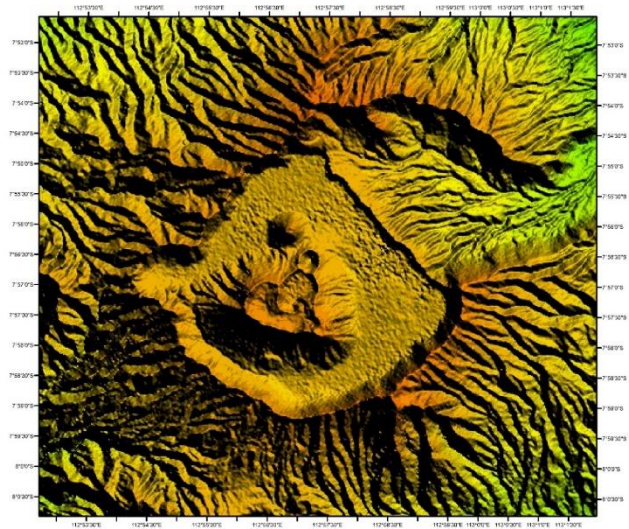
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah kawasan Gunung Bromo yang berada di Provinsi Jawa Timur. Pada koordinat $7^{\circ}53' - 8^{\circ}0'30''$ LS dan $112^{\circ}53'50'' - 113^{\circ}1'30''$ BT. Gunung bromo dikelilingi oleh empat wilayah kabupaten diantaranya :

- Kabupaten Probolinggo
- Kabupaten Pasuruan
- Kabupaten Lumajang
- Kabupaten Malang



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Gunung Bromo
(Sumber : USGS, 2017)

3.2 Data dan Peralatan

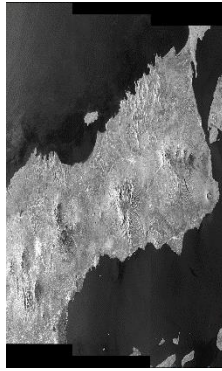
3.2.1 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dengan rincian data yang digunakan sebagai berikut :

- a. Lima citra satelit Sentinel-1A (level 1,0) yang menggunakan *band-C* (bekerja pada frekuensi 5,405 GHz, dengan panjang gelombang 5,6 cm) dengan *single polarisation* (VV). Akusisi data pada rentang bulan November 2015 – Maret 2016. Citra satelit Sentinel-1A didapatkan melalui *website* <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Berikut data citra satelit Sentinel-1A yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Data Sentinel-1A yang digunakan

No.	ID_Scene	Tanggal	Level	Arah	Polarisasi
1.	S1A_IW_SLC_ISSV_20151109T104927_20151109T104957_008526_00C12B_05D0	9-November-2015	1,0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>	VV
2.	S1A_IW_SLC_ISSV_20151227T104920_20151227T104950_009226_00D4DA_0945	27-Desember-2015	1,0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>	VV
3.	S1A_IW_SLC_ISSV_20160120T104920_20160120T104949_009576_00DEE0_CBB5	20-Januari-2016	1,0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>	VV
4.	S1A_IW_SLC_ISSV_20160213T104919_20160213T104949_009926_00E916_A92F	13-Februari-2016	1,0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>	VV
5.	S1A_IW_SLC_ISSV_20160308T104919_20160308T104949_010276_00F325_F3D3	8-Maret-2016	1,0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>	VV

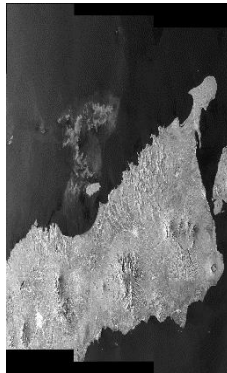


(a)

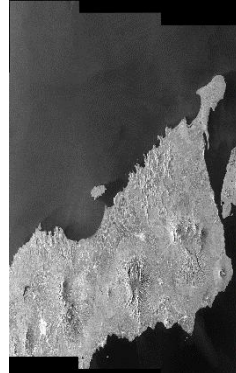


(b)

Gambar 3. 2 (a) *Scene Data Sentinel-1A 9 November 2015*;
(b) *Scene Data Sentinel-1A 27 Desember 2015*

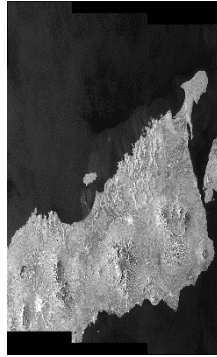


(a)



(b)

Gambar 3. 3 (a) *Scene Data Sentinel-1A 20 Januari 2015*;
(b) *Scene Data Sentinel-1A 13 Februari 2015*



Gambar 3. 4 *Scene* Data Sentinel-1A 08 Maret 2015

- b. Data *Precise Orbit Ephemerides* [AUX_POORB] yang berisi informasi orbit setiap citra Sentinel-1A yang akan dilakukan *preprocess*. Data orbit didapatkan melalui *website* https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux_poeorb/. Berikut data orbit yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3. 2 Data *Precise Orbit Ephemerides* yang digunakan

No.	ID_File	Tanggal
1.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20151129T122254_V20151108T225943_20151110T005943	9-November-2015
2.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160116T121734_V20151226T225943_20151228T005943	27-Desember-2015
3.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160209T121605_V20160119T225943_20160121T005943	20-Januari-2016
4.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160304T121427_V20160212T225943_20160214T005943	13-Februari-2016
5.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160328T121734_V20160307T225943_20160309T005943	8-Maret-2016

- c. DEM SRTM 30 m dengan posisi geografis pada $6^{\circ} 57' 31''$ sampai dengan $9^{\circ} 37' 53''$ LS dan $112^{\circ} 50' 59''$ sampai dengan $114^{\circ} 50' 59''$ BT dengan format data grid (*.grd) yang didapatkan melalui website <https://topex.ucsd.edu/gmtsar/DEMgen/>.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
- *Personal Computer* (PC) Lenovo, digunakan untuk seluruh proses pengolahan data. Dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Spesifikasi Personal Computer

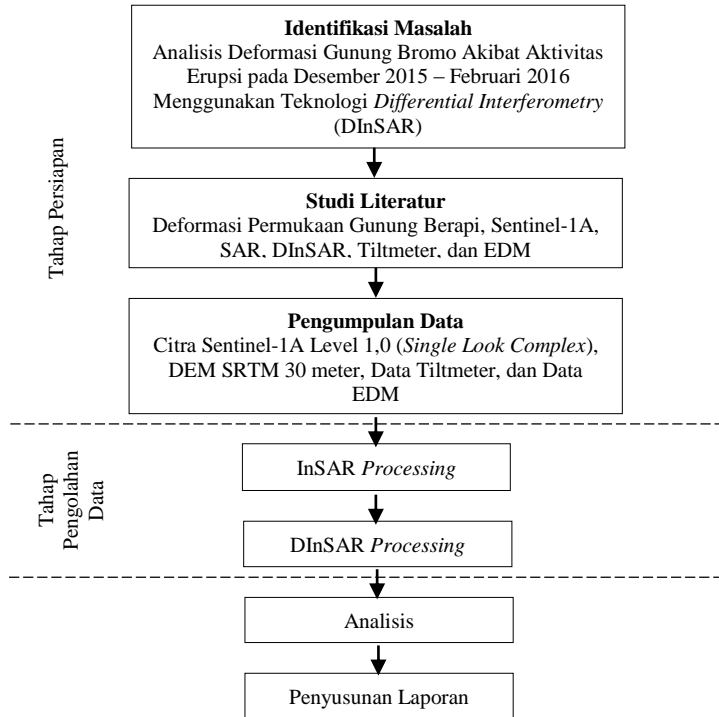
Sistem Operasi	Ubuntu 16.04 LTS
Memory	7,7 GiB
Processor	Intel ^R Core TM 15-6400CPU @2,70GHz x 4
Graphics	Gallium 0,4 on NV106
OS Type	64-Bit
Disk	948,6 GB

- b. Perangkat Lunak (*Software*)
- Sistem operasi *Ubuntu 16,04 LTS* digunakan untuk menjalankan *software* GMT dan GMT-SAR.
 - GMT-SAR merupakan *software open source* yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan muka tanah melalui aplikasi geodesi InSAR sehingga dalam penelitian tugas akhir ini digunakan untuk pengolahan citra Sentinel-1A.
 - GMT merupakan *software open source* yang pada penelitian tugas akhir ini *software* GMT digunakan untuk proses *plotting* data hasil pengolahan citra Sentinel-1A.

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.5. Dengan penjelasan tahap penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. 5 Diagram Alir Tahapan Penelitian

a. Tahap Persiapan

Pada tahapan ini dilakukan beberapa kegiatan diantaranya :

i. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah mengetahui bagaimana penerapan metode DInSAR untuk mengetahui nilai deformasi pada permukaan Gunung Bromo setelah

mengalami erupsi pada Desember 2015 – Februari 2016 dengan melakukan pengamatan dari waktu sebelum terjadinya erupsi hingga setelah terjadinya erupsi menggunakan data citra satelit Sentinel-1A.

ii. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data-data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir untuk memperlancar proses pengolahan data. Dalam hal ini, data yang dibutuhkan meliputi citra satelit Sentinel-1A level 1,0 SLC beserta data pendukung lainnya.

iii. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, data Sentinel-1A yang digunakan dalam format SLC yang kemudian dilakukan pembentukan interferogram dari dua citra Sentinel-1A pada waktu pengambilan yang berbeda. Dikarenakan interferogram yang dihasilkan masih mengandung efek topografi, maka pada pengolahan teknologi DInSAR dibutuhkan data DEM SRTM 30 m untuk melakukan proses penghilangan efek topografi pada interferogram.

iv. Tahap Analisa

Dilakukan perbandingan besar deformasi dari proses pengolahan menggunakan metode DInSAR dengan data Tiltmeter dan data EDM .

v. Tahap Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dari penelitian tugas akhir ini.

3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan SAR

Dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.6, tahapan-tahapan pengolahan SAR secara umum sebagai berikut :

a. Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu citra Sentinel-1A level 1,0 SLC multi temporal perekaman pada 9 November 2015, 27 Desember 2015, 20 Januari 2016, 13 Februari 2016 dan 8 Maret 2016. Karena teknik yang digunakan yaitu

DInSAR diperlukan data DEM SRTM 30 meter untuk mereduksi efek topografi sehingga deformasi pada pasangan interferogram citra SAR dapat diamati.

b. *InSAR Processing*

Tujuan dari proses ini yaitu untuk membentuk pasangan citra interferogram dari data SLC yang terdiri dari *master* dan *slave*. Pada penelitian ini dilakukan pemilihan data *master* dan *slave* sebagai berikut :

- Pasangan interferogram 1 dipilih citra *master* 9 November 2015 dan citra *slave* 27 Desember 2015.
- Pasangan interferogram 2 dipilih citra *master* 27 Desember 2015 dan citra *slave* 20 Januari 2016.
- Pasangan interferogram 3 dipilih citra *master* 20 Januari 2016 dan citra *slave* 13 Februari 2016.
- Pasangan interferogram 4 dipilih citra *master* 13 Februari 2016 dan citra *slave* 8 Maret 2016.

Citra interferogram menghasilkan beda *phase* antara citra *master* dan *slave*. Pada proses ini citra yang dihasilkan berhubungan langsung dengan bentuk topografi wilayah penelitian namun masih ada unsur deformasi, *noise* dan atmosfer. Dan tahapan ini dilakukan pencarian area tampalan (*offset*), *resample* parameter, dan pendataran (*flattening*). Hal ini bertujuan untuk menampalkan citra *slave* terhadap citra *master* serta melakukan proses pendataran dari bidang 3-D menjadi bidang proyeksi 2-D.

c. *DInSAR Processing*

Karena interferogram didalamnya masih mengandung unsur deformasi, *noise*, dan atmosfer akibat pencitraan kesamping, maka perlu dilakukan proses DInSAR *processing*. Proses yang dilakukan yaitu penghapusan unsur topografi dan *image filtering*. *Image filtering* pada proses DInSAR digunakan untuk menaikkan nilai SNR yang masih terkandung dalam interferogram akibat penjaralan kembali sinyal ke medium udara atmosfer (Kusman 2008) sehingga efek *noise* dan orbit dapat dihilangkan (Yudha 2011). Sedangkan untuk menghapus efek topografi pada citra interferogram menggunakan metode *two-pass interferometry*. Data

yang digunakan pada tahapan ini adalah empat pasangan citra interferogram dan DEM SRTM 30 meter.

d. Nilai Koherensi

Hasil yang diperoleh dari DInSAR memiliki nilai koherensi. Batas nilai koherensi yang diperoleh dari penggabungan dua citra SAR memiliki kisaran nilai antara 0-1. Jika pasangan interferogram pada citra 1 dan citra 2 benar-benar identik maka nilai koherensi yaitu 1, dimana nilai yang mendekati 1 adalah koherensi terbesar di antara *dataset*. Minimal nilai koherensi yang baik yaitu 0,2, sedangkan 1 menunjukkan bahwa kedua data SAR identik.

e. *Phase Unwrapping*

Citra yang dihasilkan dari DInSAR *processing* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Walaupun pola deformasi sudah dapat terlihat, namun informasi besar deformasi tersebut belum dapat dibaca dengan baik. Untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik, maka harus dilakukan proses *unwrapping* dan merubah satuan sudut *phase* absolut menjadi satuan metrik.

Untuk mengetahui besar deformasi dilakukan kalkulasi dari rumus *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor LOS, yaitu :

$$\Delta\phi_{defo} = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \quad (1)$$

Nilai λ merupakan panjang gelombang citra Sentinel-1A, $\Delta\phi_{defo}$ adalah nilai perbedaan *phase* dan R merupakan jarak panjang gelombang.

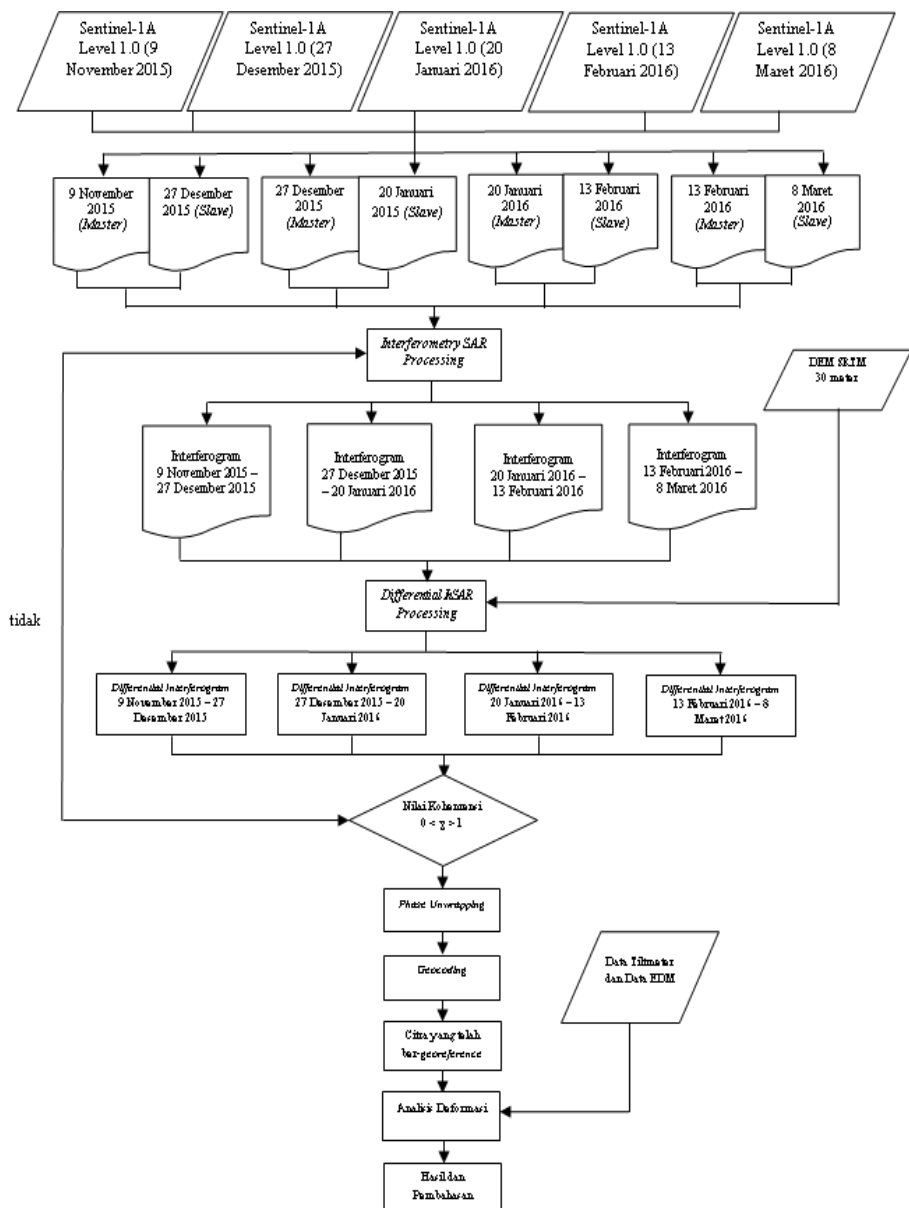
f. *Geocoding*

Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra radar yang ada pada citra interferogram ke dalam sistem koordinat global sehingga interferogram yang didapat sudah *georeference*, artinya posisi suatu piksel memiliki posisi di permukaan bumi atau model deformasi posisinya sudah diketahui di permukaan bumi.

g. Analisa Deformasi

Tahap analisa ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan nilai deformasi dari hasil pengolahan SAR

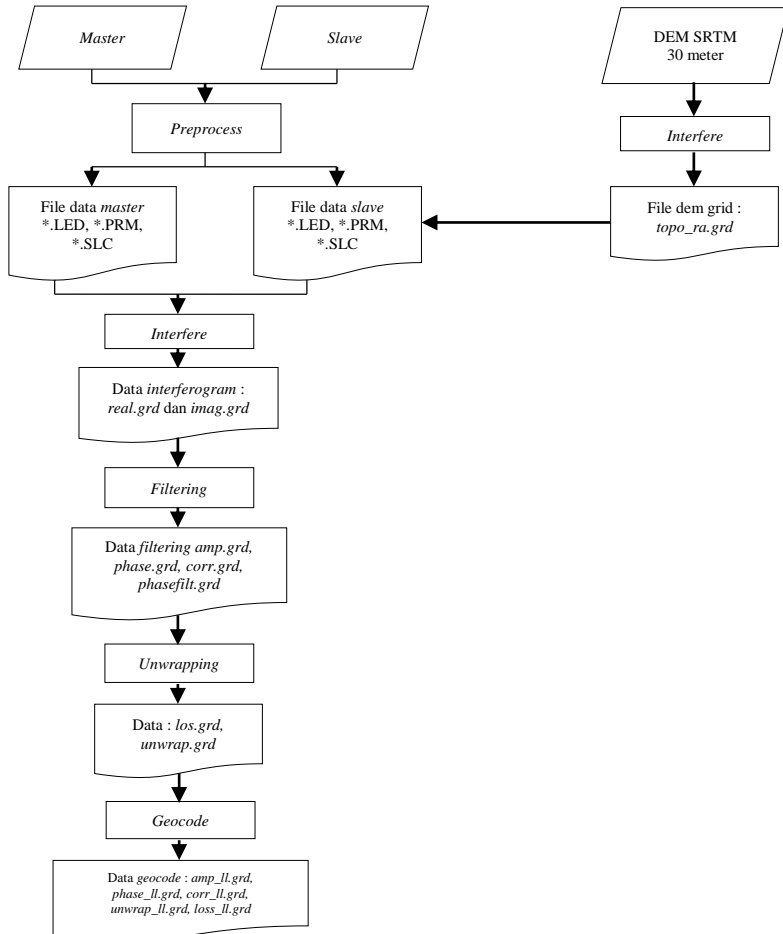
menggunakan metode *two-pass interferometry* jika dibandingkan dengan hasil olahan data Tiltmeter dan data EDM .



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode *Two- Pass Interferometry*

3.3.3 Tahapan Pengolahan SAR dengan GMT-SAR

Dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.7, tahapan-tahapan pengolahan SAR dengan GMT-SAR adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 7 Diagram Pengolahan Pada GMT-SAR

a. Tahap *Pre-process*

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan informasi orbit dan mengetahui parameter *ascii file* yang berisi parameter untuk InSARprocessing dengan mengekstrak *orbital satellite* dan kecepatannya dari *leader file* (*.LED), *image alignment*, dan mengestimasi *doppler centroid* dari data yang terdapat pada masing-masing data SAR.

Pada tahap *pre-process* ini di dalamnya terdapat proses *focus* dan *align*. Tahap *focus* merupakan tahapan yang bertujuan untuk membuat citra SLC dari data SAR. Dikarenakan data citra SAR yang digunakan sudah dalam bentuk SLC maka tahap *focus* berada pada tahap *pre-process* yang bertujuan untuk mengekstrak file data citra SLC yang sudah ada pada (*.SAFE) *directory*.

Sedangkan tahap *align* dilakukan untuk mencari area tampalan dan parameter yang didapatkan dari tahap *pre-process* oleh citra *master* terhadap citra *slave*.

Hasil dari tahap ini didapatkan *file* (*.LED), (*.PRM) dan (*.SLC) untuk masing-masing data SAR serta file *offset.dat* yang berisi data-data hasil *offset* antara citra *master* dan *slave*. Tahap *pre-process* dilakukan melalui terminal dengan menggunakan perintah sebagai berikut :

b. Tahap Transformasi Koordinat (*DEM2topophase*)

Pada tahap ini memerlukan data DEM, jenis DEM yang digunakan dalam penelitian ini yaitu DEM SRTM 30 m yang memiliki sistem koordinat geografis. Namun pada pengolahan GMT-SAR koordinat yang digunakan dalam sistem koordinat radar, sehingga dibutuhkan transformasi koordinat dari koordinat geografis ke koordinat radar. Dikarenakan, perhitungan beda *phase* pada interferogram yang dihasilkan akan memberikan hasil yang lebih baik apabila proses pengurangannya berada dalam sistem koordinat radar.

Pada tahap ini dilakukan melalui *comment DEM2topo_ra.csh* pada terminal untuk melakukan transformasi data DEM dengan eksentensi *file* (*.grd) yang memiliki koordinat geografis ke dalam koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Hasil dari tahap ini yaitu :

- 1) Data *topo_ra.grd*, merupakan DEM pada koordinat radar (*range* dan *azimuth*).
- 2) *topo_ra.ps*
- 3) Data *trans.dat*, merupakan koordinat sekutu antara radar dan DEM yakni koordinat *range*, *azimuth*, dan koordinat geografis.

Berikut perintah yang digunakan dalam proses transformasi koordinat :

```
#####
# parameters for make topo_ra # # -
DEM2topo_ra.csh #
#####
# subtract topo_ra from the phase
# (1 -- yes; 0 -- no)
topo_phase = 1
# if above parameter = 1 then one should have put
DEM.grd in topo/
# topo_ra shift (1 -- yes; 0 -- no)
shift_topo = 0
```

c. Tahap *Interfere*

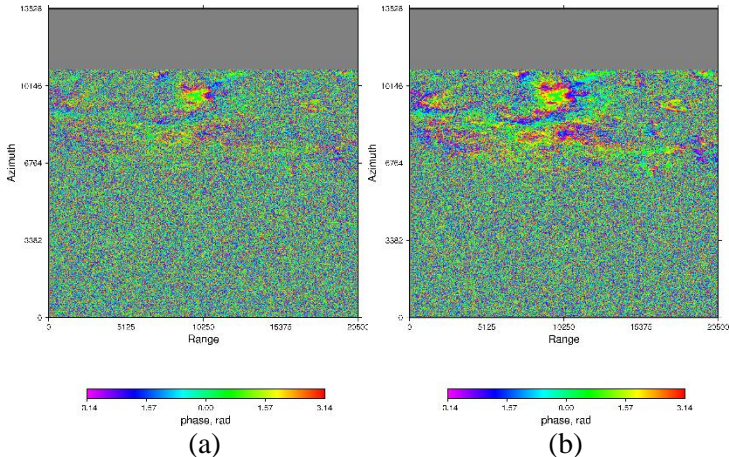
Tahap *interfere* merupakan tahap pembuatan citra interferogram dari sepasang citra SAR yaitu citra *master* dan *slave* dan sekaligus dilakukan proses pengurangan efek topografi menggunakan data DEM yang telah diubah koordinatnya menjadi koordinat radar. Tahap *interfere* dilakukan dengan *comment intf.csh* pada terminal. Tahapan tersebut akan menghasilkan dua file yaitu *img.grd* dan *real.grd* yang kemudian dihapus setelah tidak diperlukan lagi.

d. Tahap Filtering

Tahap ini dilakukan dengan menaikkan nilai SNR yang ada pada interferogram untuk menghilangkan efek *noise* dan orbit. Jenis *filter* yang digunakan GMT-SAR yaitu metode *Gaussian*. Terdapat beberapa jenis *filter* yang bervariasi dari 100 meter hingga 700 meter. Pada penelitian ini menggunakan jenis *filter Gaussian* 300 meter.

Tahap *filtering* dilakukan melalui *comment filter.csh*. hasil dari tahapan ini ada tiga jenis, yaitu :

- 1) Data *display_amp.grd* dan *display_amp.ps*, merupakan citra interferogram *amplitude*.
- 2) Data *phase.grd* dan *phase.ps*, merupakan citra hasil pengolahan interferogram *phase*.
- 3) Data *corr.grd* dan *corr.ps*, merupakan citra interferogram *correlation*.



Gambar 3. 8 Interferogram Phase a) Sebelum *Filtering* ; b) Setelah *Filtering*

Gambar 3.8 merupakan salah satu contoh citra interferogram yang telah dilakukan proses *filtering*. Untuk pembahasan lebih lanjut mengenai hasil dari proses *filtering*, dapat dilihat pada sub-bab 4.1.4.

e. Tahap *Phase Unwrapping* (snaphu)

Citra yang dihasilkan dari proses *interfere* dan *filtering* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π . Tahap snaphu dilakukan melalui *comment snaphu.csh* pada terminal. Pada proses *unwrap* juga merupakan proses pemotongan data sesuai yang diperlukan. Data koordinat yang dilakukan dalam proses pemotongan merupakan koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Berikut perintah yang digunakan pada tahap snaphu :

```
#####
# parameters for unwrap phase # # -
# snaphu.csh #
#####
# correlation threshold for snaphu.csh (0~1)
# set it to be 0 to skip
unwrapping. threshold_snaphu = 0,2
# region to unwrap in radar coordinates (leave it blank
if unwrap the whole region)
# example 300/5900/0/25000
```

```
# mask the wet region (Lakes/Oceans) before unwrapping
(1 -- yes; else -- no)
switch_land = 1
# Allow phase discontinuity in unrapped phase. This is
needed for interferograms having sharp phase jumps.
# defo_max = 0 - used for smooth unwrapped phase such
as interseismic deformation
# defo_max = 65 - will allow a phase jump of 65 cycles
or 1,82 m of deformation at C-band
# defomax = 0
```

f. Tahap *Geocode*

Tahap *geocode* dilakukan melalui *comment geocode.csh*. yang bertujuan untuk merubah kembali sistem koordinat menjadi koordinat geografis. Hasil dari tahap *geocode* ini pada file *output*-nya memiliki nama *_ll*. Dengan kemampuan *software* GMT, hasil tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk *postscript* dan *kml* *Google Earth*. Walaupun telah bergeoreferensi, grid, skala, dan informasi lainnya belum ada. Untuk itu, kemampuan menggunakan GMT perlu dilakukan sehingga diperoleh hasil yang artistik akan ditampilkan di bagian hasil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

4.1.1 Panjang *Baseline* dan *Interval Waktu*

Deformasi yang terjadi pada tiap titik di permukaan bumi dapat terjadi secara signifikan ataupun stabil dalam kurun waktu tertentu. Untuk deformasi pada gunung api terjadi karena adanya aktivitas vulkanik berupa gerakan magma di bawah permukaan yang berpengaruh pada perubahan tekanan pada kantong magma. Umumnya adanya pergerakan magma di bawah permukaan merupakan indikasi awal akan terjadinya erupsi dan kenaikan tekanan akan menghasilkan deformasi di permukaan (*ground deformation*) (Jamel 2013).

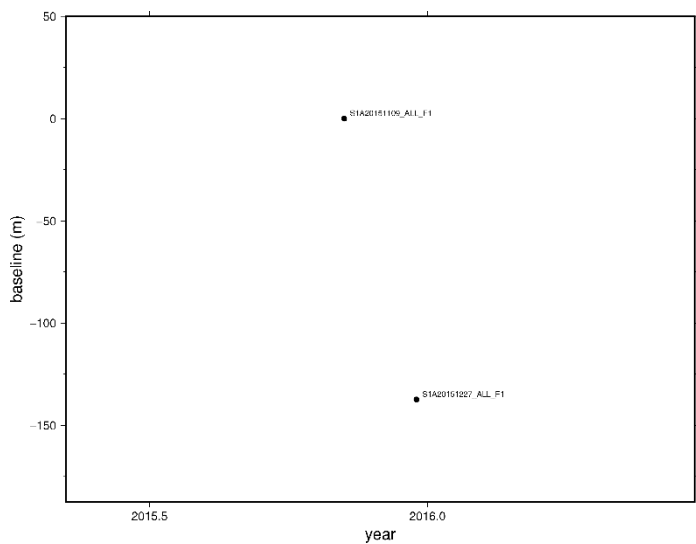
Untuk mengetahui besarnya deformasi yang ada pada permukaan gunung api akibat adanya erupsi dibutuhkan data dengan jarak temporal yang berdekatan dengan cakupan waktu sebelum, saat, dan setelah terjadinya erupsi. Besarnya nilai *baseline* dan jarak juga mempengaruhi nilai koherensi yang akan didapatkan pada pembentukan citra interferogram. Untuk memperoleh nilai koherensi pasangan cira yang baik, diperlukan jarak temporal yang tidak lebih dari 6 bulan dan panjang *baseline* yang tidak lebih dari 150 meter (Feretti dkk. 2007).

Dari data SLC yang digunakan dalam pemrosesan SAR dengan GMT-SAR diperoleh panjang *baseline perpendicular* dan jarak temporal pada tabel 4.1.

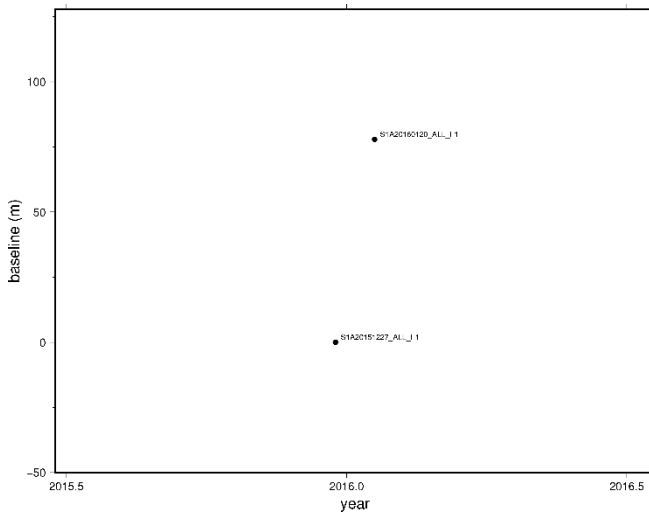
Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa dari tiga pasangan citra yang dibentuk interferogram memiliki panjang *baseline perpendicular* sebesar -137,37 meter (pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015), 77,88 meter (pasangan citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016), 10,03 meter (pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016), -54,59 meter (pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016).

Tabel 4. 1 *Baseline Perpendicular* dan Jarak Temporal

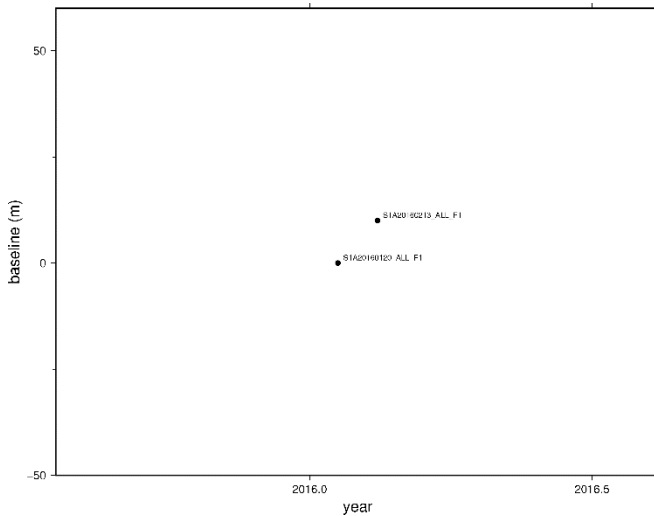
ID_Scene	Tanggal	<i>Baseline Perpendicular</i>	<i>Baseline Temporal</i>
S1A_IW_SLC_20151109T104927_20151227T104920	9 November 2015 – 27 Desember 2015	-137,37 meter	47 hari
S1A_IW_SLC_20151227T104920_20160120T104920	27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	77,88 meter	24 hari
S1A_IW_SLC_20160120T104920_20160213T104919	20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	10,03 meter	24 hari
S1A_IW_SLC_20160213T104919_20160308T104919	13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	-54,59 meter	24 hari



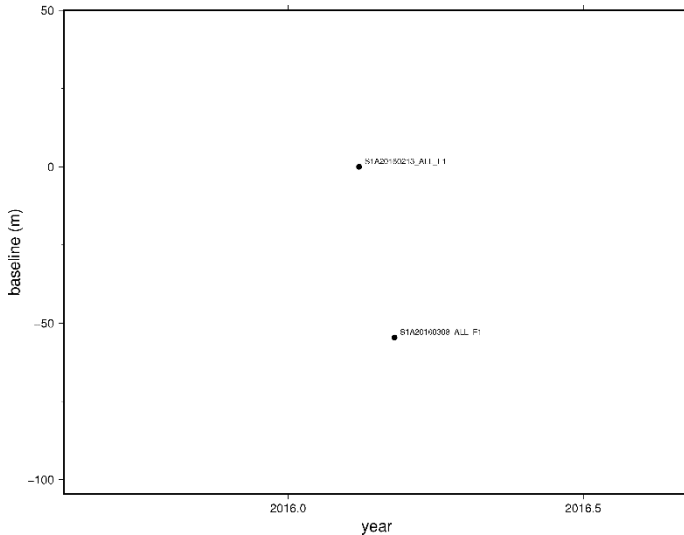
Gambar 4. 1 *Baseline Perpendicular* Pasangan Citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015



Gambar 4. 2 *Baseline Perpendicular* Pasangan Citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



Gambar 4. 3 *Baseline Perpendicular* Pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



Gambar 4. 4 *Baseline Perpendicular* Pasangan Citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

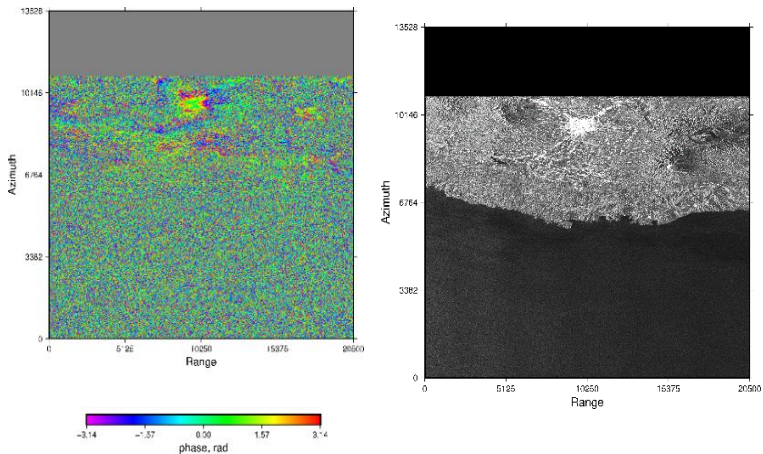
Semakin panjang nilai *baseline perpendicular* maka tingkat koherensi citra akan terus menurun dikarenakan semakin jauhnya perbedaan posisi orbit satelit ketika melakukan pengambilan citra. Begitu juga dengan besarnya nilai *baseline temporal* yang jika nilainya semakin besar akan menyebabkan *temporal decorrelation* dan berhubungan dengan besarnya nilai koherensi pada citra interferogram.

Koherensi citra yang rendah juga mengakibatkan karakteristik objek dari kedua sisi juga berbeda dan adanya perubahan pada objek yang diamati (Sari 2014).

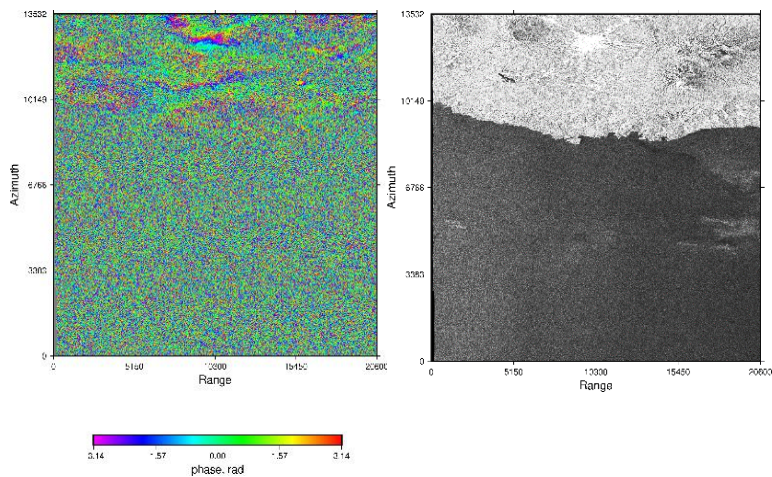
4.1.2 Interferogram Phase dan Amplitude

Citra interferogram dibentuk dari teknologi DInSAR dengan perkalian silang antar piksel pada citra *master* terhadap citra *slave*. Sehingga di dalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude*. Teknologi DInSAR memanfaatkan informasi *phase* yang ada pada citra SAR untuk mendapatkan beda jarak dan

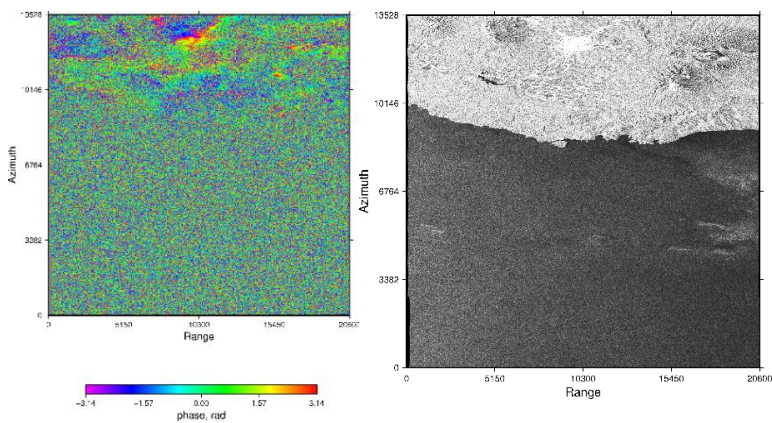
perubahan jarak dari dua citra SLC pada permukaan yang sama. Pada gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 merupakan hasil pembentukan citra interferogram berupa citra *interferogram phase* dan *amplitude* pada sistem koordinat radar yang sudah dihilangkan efek topografinya menggunakan DEM SRTM 30 m.



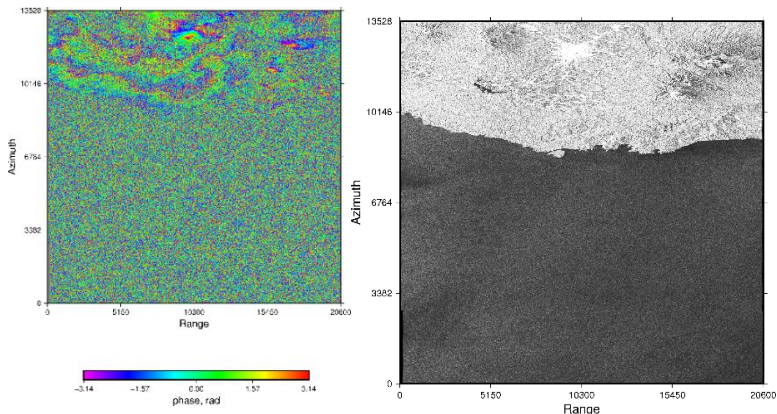
Gambar 4. 5 Citra Interferogram (kiri) *Phase* 9 November 2015 – 27 Desember 2015; (kanan) *Amplitude* 9 November 2015 – 27 Desember 2015



Gambar 4. 6 Citra Interferogram (kiri) *Phase* 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016; (kanan) *Amplitude* 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



Gambar 4. 7 Citra Interferogram (kiri) *Phase* 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016; (kanan) *Amplitude* 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



Gambar 4. 8 Citra Interferogram (kiri) *Phase* 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016; (kanan) *Amplitude* 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Pada citra *interferogram amplitude* pada bagian gambar (b) dapat dilihat bahwa area yang menunjukkan warna terang merupakan wilayah yang memiliki objek kasar, karena kuatnya hamburan balik dari objek ke *transmitter*. Sedangkan area yang berwarna gelap, menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus, objek yang dimaksud dalam citra interferogram yang dihasilkan yaitu perairan. Area yang berwarna gelap ini disebabkan lemahnya hamburan balik dari objek ke *transmitter*.

Untuk *interferogram phase*, dapat dilihat bahwa dari interferogram yang dihasilkan terdapat *fringes* yang terbentuk karena orbit yang tidak sama persisi pada saat pengambilan citra SAR. *Fringes* yang dihasilkan pada interferogram merupakan garis-garis tipis yang menunjukkan besar *phase* pada nilai yang sama. Dimana besar *phase* didapatkan dari adanya perambatan gelombang elektromagnetik yang melewati media atmosfer dari satelit kepada objek. Gelombang elektromagnetik yang melewati media atmosfer cenderung mengalami perlambatan atau

percepatan gelombang dan hal ini akan mempengaruhi *fringes* yang ada di interferogram.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Beauducel dkk (2000) efek atmosfer pada wilayah gunung diketahui sangat signifikan. Untuk deformasi pada skala besar, Delacourt dkk (1988) mengemukakan bahwa *delay troposphere* dapat mempengaruhi besar *error* hingga $\pm 1,5$ *fringes* yang terbentuk pada interferogram dan menurunkan akurasi interferogram. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan status atmosfer antara dua akusisi citra diterjemahkan ke panjang jalur yang berbeda (Zhou dkk. 2009). Sedangkan efek yang ditimbulkan oleh *ionosphere* dapat menyebabkan adanya pergeseran piksel *azimuth* dan kesalahan fase awal pada interferogram.

4.1.3 Koherensi Citra SAR

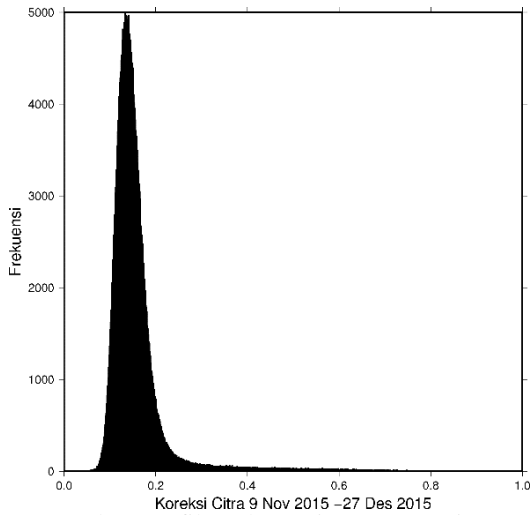
Citra interferogram yang dihasilkan dari proses DInSAR memiliki tingkat koherensi yang berbeda-beda. Koherensi merupakan nilai yang digunakan untuk mengestimasi *phase noise* dari citra interferogram. Secara kualitatif tingkat koherensi citra dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16.

Tingkat koherensi pada citra interferogram memiliki kisaran nilai antara 0-1. Dimana jika 1 merupakan tingkat koherensi yang paling tinggi sehingga pasangan citra benar-benar identik. Pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16 *scale bar* bergerak ke arah kanan (warna merah) menunjukkan bahwa tingkat koherensi yang paling tinggi, sedangkan nilai koherensi paling rendah ditunjukkan pada *scale bar* yang bergerak ke arah kiri (warna ungu). Dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16 bahwa citra koherensi yang ditampilkan hanya menunjukkan wilayah yang memiliki nilai koherensi lebih dari sama dengan 0,2. Wilayah yang memiliki nilai koherensi kurang dari 0,2 merupakan wilayah badan Gunung Bromo yang memiliki kriteria wilayah vegetasi dengan kerapatan yang tinggi. Untuk nilai koherensi yang tinggi berada pada wilayah

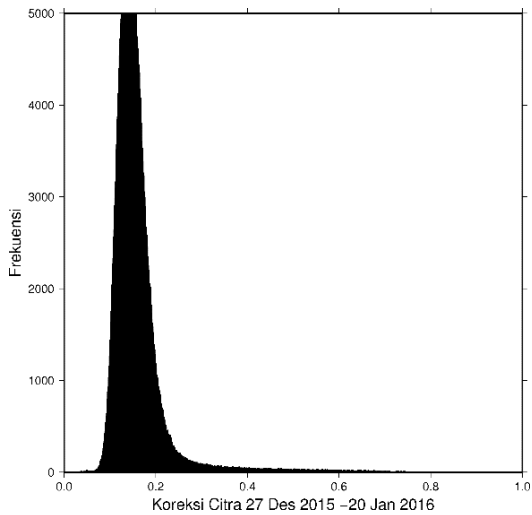
kaldera yang ditunjukkan dengan rentang nilai antara 0,3 - 0,8 pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16.

Rendahnya nilai koherensi pada citra interferogram dapat disebabkan karena adanya ketidakcocokan sifat dari dua sistem pencitraan yang terlibat dikarenakan adanya *volume scattering*, *error* pada saat pemrosesan, dan lain-lain (Hanssen 2001). Selain itu, rendahnya nilai koherensi juga dapat disebabkan dari wilayah pada citra interferogram didominasi oleh vegetasi, dekorelasi temporal menyebabkan penurunan nilai koherensi (Tamm dkk. 2016), serta hasil penelitian yang dilakukan oleh Wegmuller (2015) mengindikasikan bahwa koherensi pada *band-C* secara signifikan lebih rendah pada area vegetasi dibandingkan *urban area* dikarenakan *interval* waktu 12 hari pada pengambilan citra Sentinel-1A dianggap lama jika dibandingkan ERS-1 yang *interval* waktu pengambilan citra hanya 3 hari saja. Penelitian yang ditunjukkan oleh Zebker dkk (2000) juga menunjukkan bahwa penggunaan *band-C* memiliki penggunaan yang terbatas, seperti pembentukan interferogram yang memiliki nilai koherensi rendah. Tetapi, *band-C* yang memiliki panjang gelombang lebih pendek daripada *band-L*, lebih sensitif terhadap perubahan yang kecil (Founier dkk. 2010).

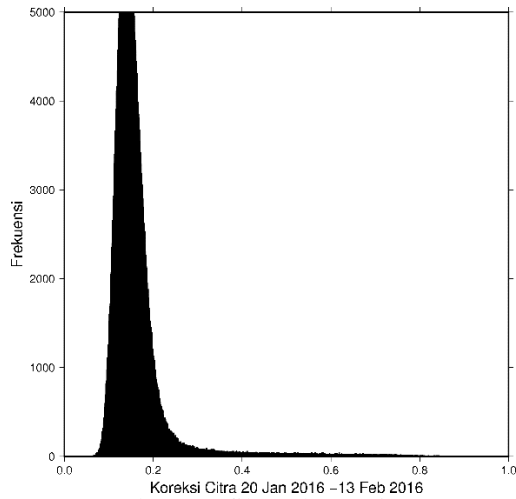
Berdasarkan hasil pengolahan data SAR didapatkan nilai koherensi keseluruhan pasangan citra SAR berada pada rentang nilai antara 0,008-0,8. Nilai koherensi rata-rata tiap pasangan citra dapat ditunjukkan pada grafik yang ada pada gambar 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12. Rendahnya nilai koherensi ini menyebabkan banyaknya piksel yang kosong setelah citra melalui proses *unwrapping*.



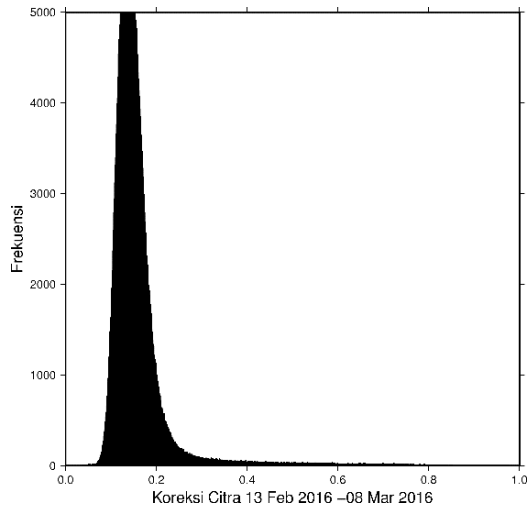
Gambar 4. 9 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015



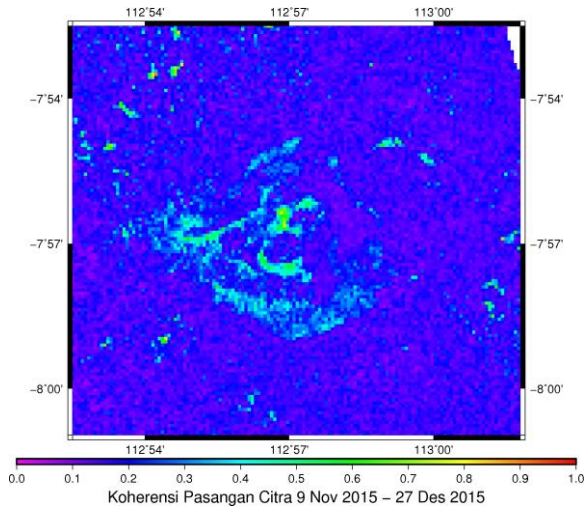
Gambar 4. 10 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



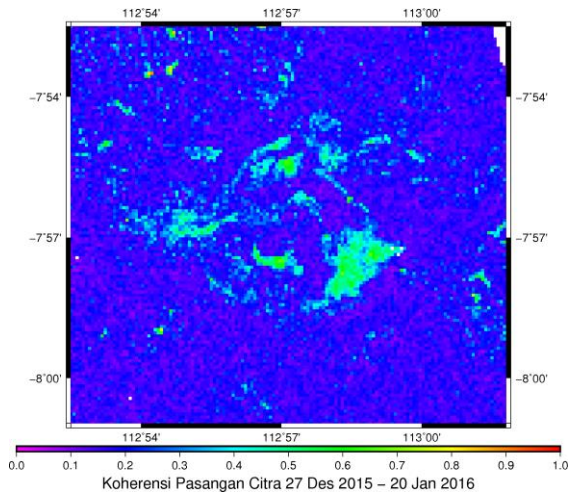
Gambar 4. 11 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



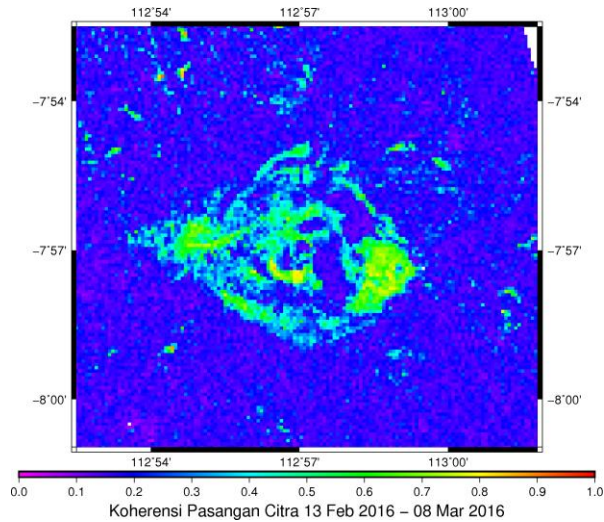
Gambar 4. 12 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 13 Februari 2016 – 08 Maret 2016



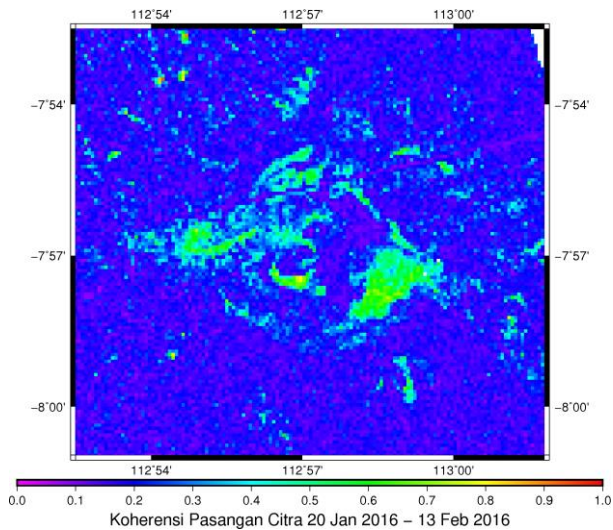
Gambar 4. 13 Koherensi Citra Interferogram 9 November 2015 – 27 Desember 2015



Gambar 4. 14 Koherensi Citra Interferogram 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



Gambar 4. 15 Koherensi Citra Interferogram 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



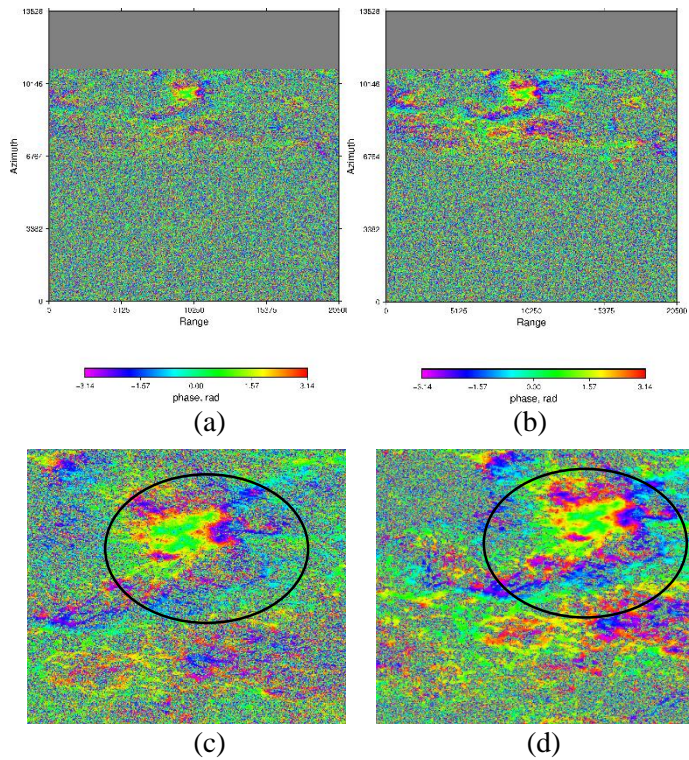
Gambar 4. 16 Koherensi Citra Interferogram 13 Februari 2016 – 08 Maret 2016

4.1.4 Citra Interferogram Setelah *Filtering*

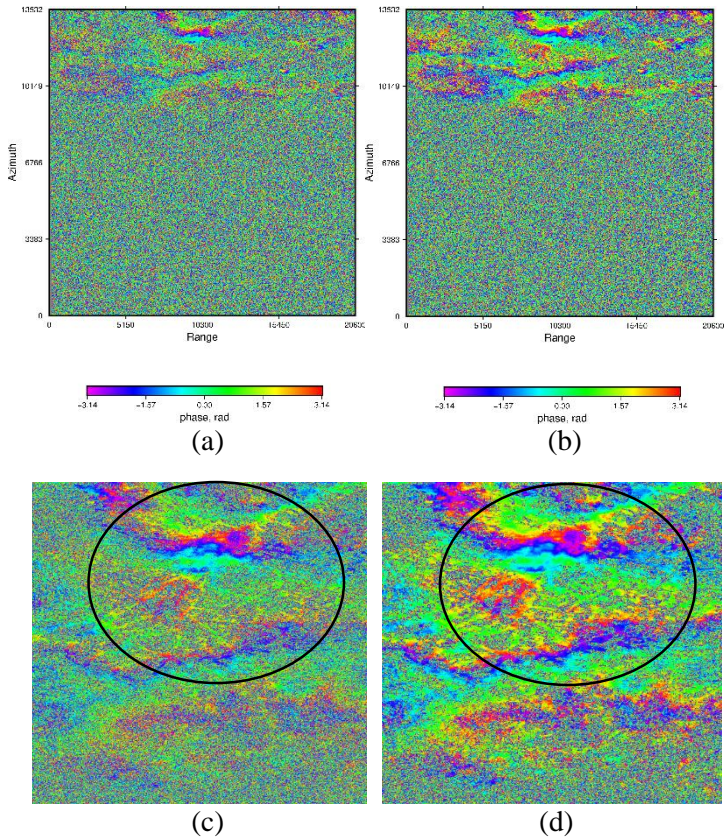
Tujuan dilakukan adanya *filtering* adalah untuk menaikkan nilai SNR pada interferogram dikarenakan pengaruh dari penjaran sinyal kembali ke medium udara atau atmosfer sehingga menghilangkan dekorelasi yang diakibatkan oleh efek *noise* dan orbit yang menyebabkan menurunnya kualitas citra SAR, menaikkan nilai akurasi, dan mempertajam *phase* di area-area yang nilai koherensinya masih relatif besar. Menaikkan nilai SNR merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk proses *filter*-an citra SAR.

Proses *filtering* yang dilakukan dengan menggunakan *software* GMT-SAR dengan waktu yang relatif cepat. Setelah proses *filtering* selesai, interferogram menunjukkan adanya deformasi tetapi masih dalam satuan *phase* (radian). Informasi yang ada pada citra masih terbatas antara $-\pi$ sampai π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas *phase* yang kemudian diselesaikan dengan proses *phase unwrapping*. Hasil *phase* sebelum dan sesudah *filtering* dapat dilihat pada gambar 4.17, 4.18, 4.19, dan 4.20.

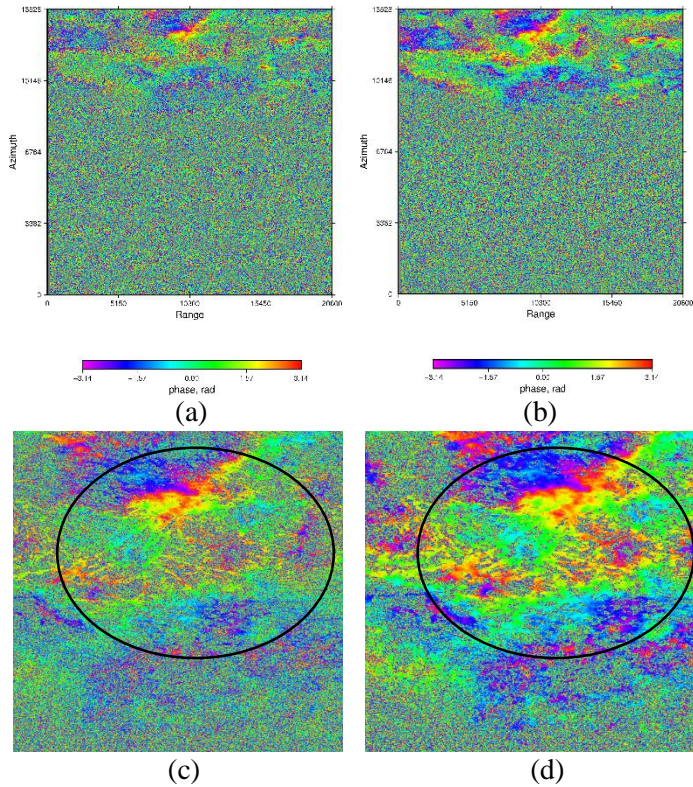
Lingkaran hitam yang ditunjukkan pada gambar 4.17, 4.18, 4.19, dan 4.20 merupakan contoh wilayah pada interferogram yang mengalami perubahan setelah dilakukan adanya *filtering*. Perubahan dapat dilihat dari *fringes* pada interferogram setelah proses *filtering* memiliki tingkat visibilitas yang lebih bagus. Hal ini sama dengan penelitian oleh Goldstein dan Werner (1998) yang menunjukkan bahwa proses *filtering* secara signifikan dapat meningkatkan visibilitas *fringes* yang ada di interferogram.



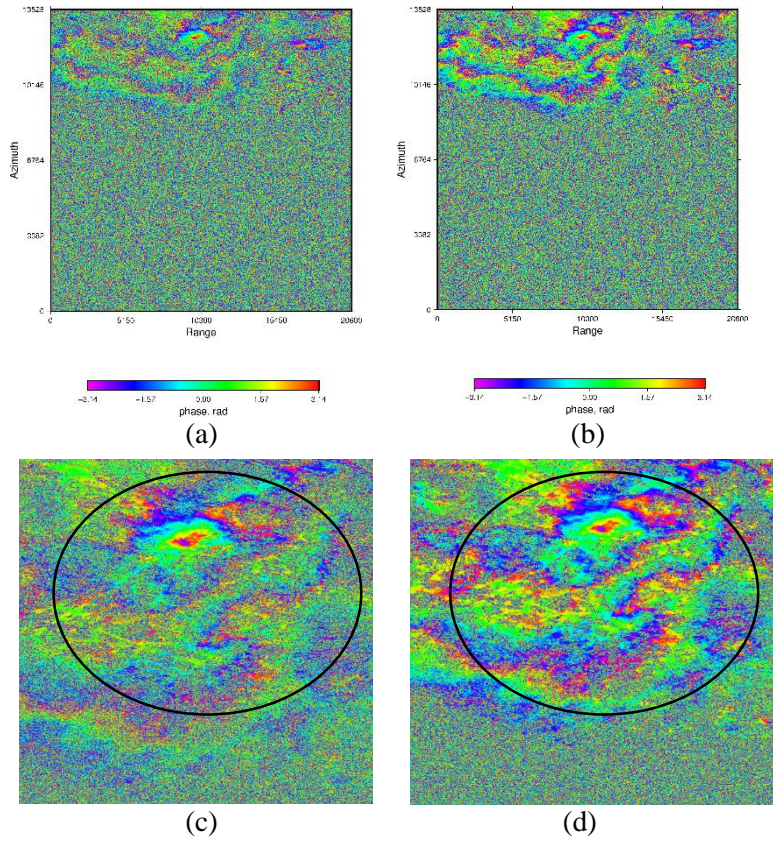
Gambar 4. 17 Pasangan 9 November 2015 - 27 Desember 2015; (a) Sebelum *Filtering*; b) Sesudah *Filtering*; (c) Hasil *close-up* sebelum *filtering*; (d) Hasil *close-up* setelah *filtering*



Gambar 4. 18 Pasangan 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016; (a) Sebelum *Filtering*; b) Sesudah *Filtering*; (c) Hasil *close-up* sebelum *filtering*; (d) Hasil *close-up* setelah *filtering*



Gambar 4. 19 Pasangan 20 Januari 2016 - 13 Februari 2016; (a) Sebelum *Filtering*; b) Sesudah *Filtering*; (c) Hasil *close-up* sebelum *filtering*; (d) Hasil *close-up* setelah *filtering*

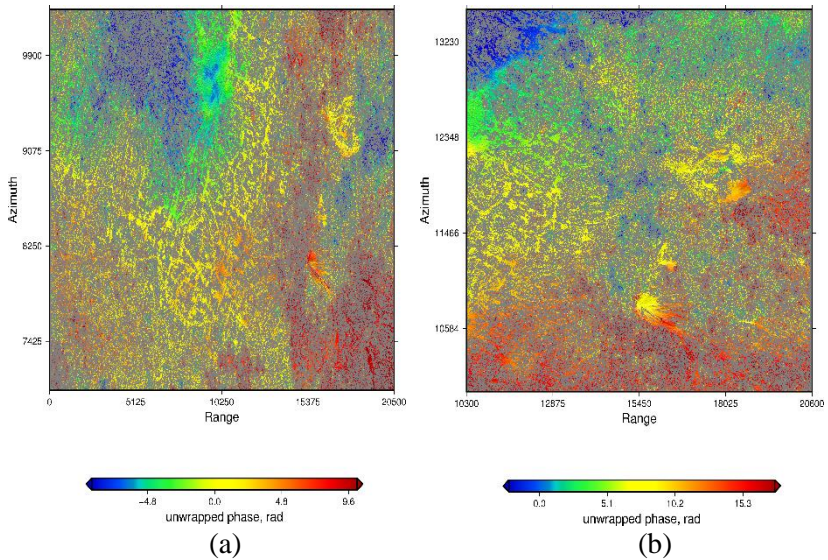


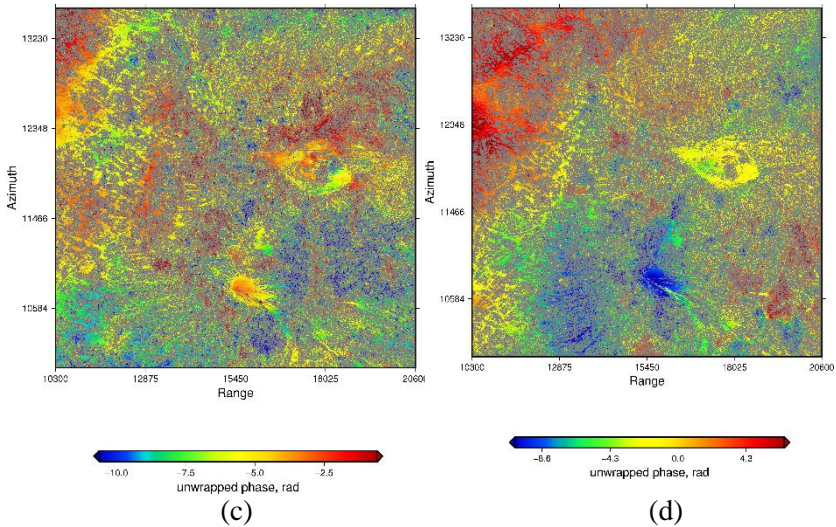
Gambar 4. 20 Pasangan 13 Februari 2016 - 8 Maret 2016; (a) Sebelum *Filtering*; b) Sesudah *Filtering*; (c) Hasil *close-up* sebelum *filtering*; (d) Hasil *close-up* setelah *filtering*

4.1.5 Citra Interferogram Setelah Unwrapping

Citra interferogram yang terbentuk merupakan hasil dari proses *flattening* yang memiliki nilai pengukuran bersifat ambiguitas dikarenakan adanya *fringes* pada interferogram dengan modulo 2π . Oleh karena itu, dilakukan proses *phase unwrapping* untuk menghilangkan ambiguitas *phase* tersebut untuk mendapatkan nilai *phase* absolut.

Proses *unwrapping* pada area yang relatif datar lebih mudah untuk dilakukan, tetapi jika area studi memiliki bentuk topografi yang beragam (misal memiliki perbedaan *phase jump* yang besar) maka proses *unwrapping* sulit dilakukan.





Gambar 4. 21 Citra Interferogram Setelah *Unwrapping*; (a) 9 November 2015 – 27 Desember 2015; (b) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016; (c) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016; (d) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Setelah mengalami proses *unwrap*, citra interferogram sudah diketahui nilai deformasinya dalam satuan π rad (*phase*). Yang kemudian diubah menjadi satuan metrik sehingga dihasilkan nilai deformasi berdasarkan LOS. Hasil dari proses *unwrapping* ditunjukkan pada gambar 4.21.

4.1.6 Interferogram Setelah Geocode

Tahapan akhir ini adalah meng-*georeference*-kan citra *amplitude*, *phase*, setelah *filtering* dan *masking*, koherensi, dan citra hasil *unwrap*.

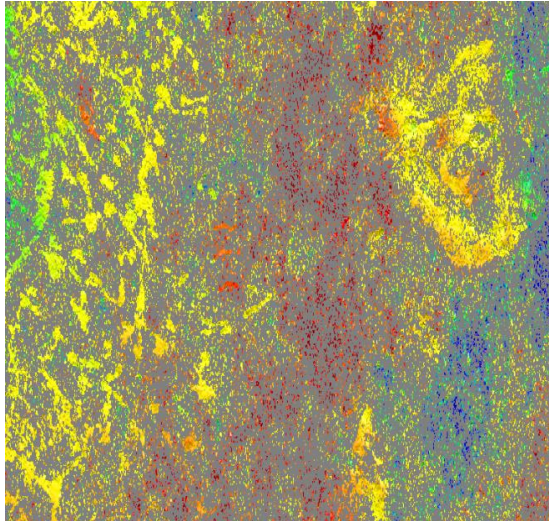
4.1.7 Geometri Pencitraan Studi Kasus

Kondisi geografis di wilayah pegunungan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan wilayah Gunung Bromo yang merupakan kawasan hutan dengan tingkat kerapatan tinggi dan

merupakan kawasan cagar alam. Vegetasi di wilayah Gunung Bromo didominasi dengan pohon berdiameter besar dan tinggi yang mengindikasikan bahwa hutan tersebut ditumbuhi pohon berumur tua. Rata-rata tinggi pohon diperkirakan mencapai 30 meter (Ulum dkk. 2015).

Jika dihubungkan dengan citra koherensi yang dihasilkan oleh pasangan citra interferogram seperti yang ada pada gambar 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16, daerah yang mengandung vegetasi dengan kepadatan tinggi memiliki nilai koherensi yang rendah akibat dari jarak temporal pengambilan citra SAR, sehingga menyebabkan sinyal pantulan di daerah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dan mengalami perubahan.

Wilayah Gunung Bromo juga memiliki relief topografi yang bervariasi, yang memberikan pengaruh terhadap hasil pencitraan radar. Dikarenakan arah pencitraan radar yang ke samping menyebabkan adanya distorsi pada hasil pencitraan, distorsi berupa *layover*, *shadow*, dan *forshortening*. Distorsi pada radar dipengaruhi dua hal yakni *incidence angle* dan *slope* pada wilayah pencitraan (Hanssen 2001). Pengaruh dari distorsi akan memberikan efek pada proses *unwrapping* dan kembalinya sinyal pantul ke sensor radar, yang menyebabkan banyaknya area kosong (*blank unwrapping*) pada hasil pengolahan yang ditunjukkan pada gambar 4.23.



Gambar 4. 22 Bagian yang berwarna abu-abu menunjukkan nilai *phase unwrapping* yang kosong

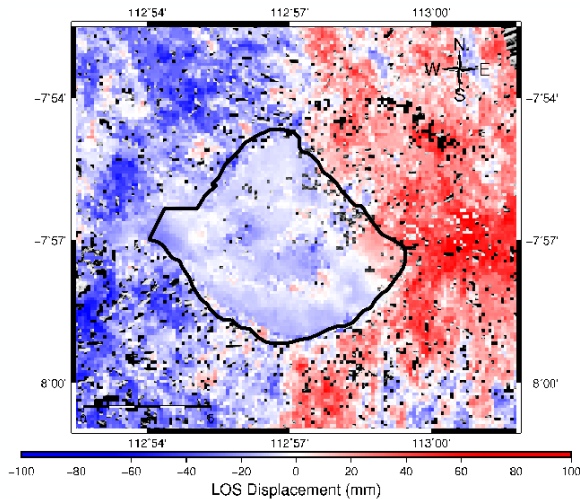
Banyaknya *blank unwrapping* pada penelitian ini disebabkan karena kecilnya nilai koherensi yang dihasilkan oleh pasangan citra interferogram. Penyebab rendahnya nilai koherensi pada interferogram telah dijelaskan sebelumnya pada sub-subbab 4.1.3. Pada area yang memiliki nilai koherensi rendah, ketika dilakukan proses *phase unwrapping* banyak nilai *phase* yang hilang dan menghasilkan area *blank unwrapping*.

4.1.8 Nilai LOS Displacement

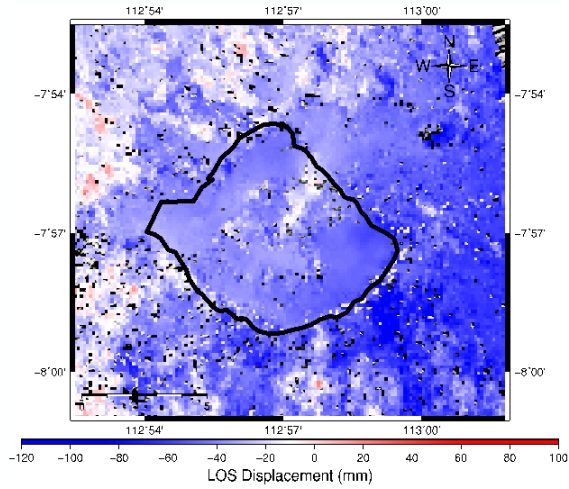
Hasil yang diperoleh pada proses *unwrapping* masih dalam satuan π rad (*phase*), untuk mendapatkan nilai dalam satuan metrik seperti pada gambar 4.27, 4.28, 4.29, dan 4.30 maka dilakukan perhitungan sesuai *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor LOS.

Hasil nilai LOS *displacement* yang ada pada gambar 4.23, 4.24, 4.25, dan 4.26 dapat dilihat bahwa bagian badan gunung tidak

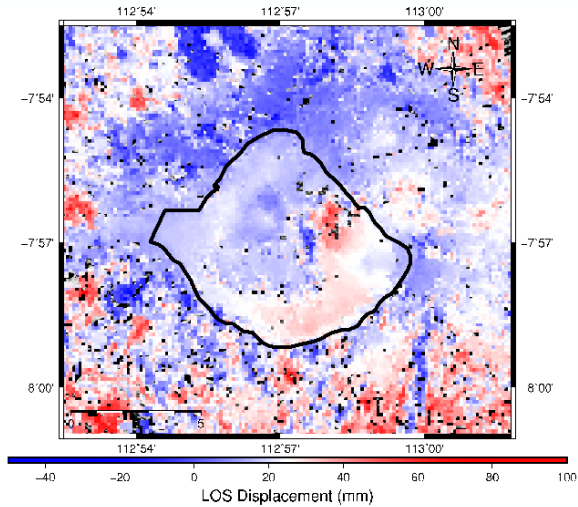
semua wilayah mengalami *displacement*. Hal ini dipengaruhi oleh geometri daerah Gunung Bromo seperti yang dijelaskan pada sub-subbab 4.1.7. Pada *scale bar* yang ditunjukkan pada gambar 4.23, 4.24, 4.25, dan 4.26 warna merah pada citra menunjukkan terjadinya kenaikan permukaan tanah (inflasi) pada permukaan Gunung Bromo. Sedangkan warna biru menunjukkan terjadinya penurunan permukaan tanah (deflasi). Warna putih pada *scale bar* menunjukkan area pada studi kasus yang hampir atau tidak mengalami inflasi atau deflasi.



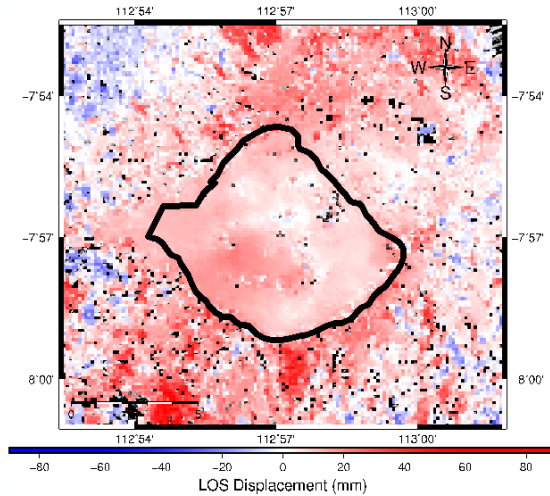
Gambar 4. 23 LOS *Displacement* 9 November 2015 – 27 Desember 2015



Gambar 4. 24 LOS *Displacement* 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



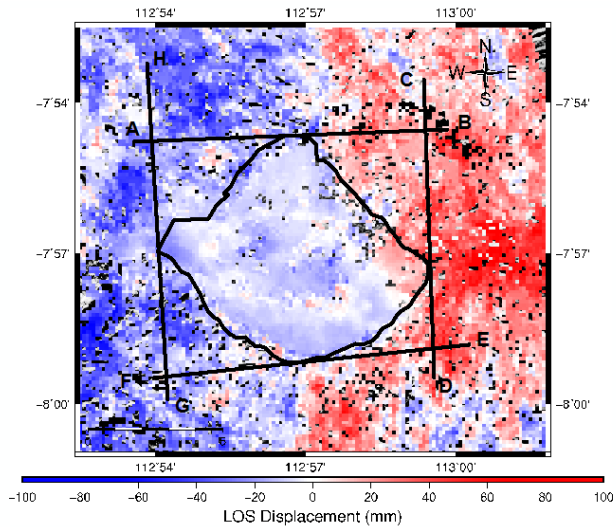
Gambar 4. 25 LOS *Displacement* 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



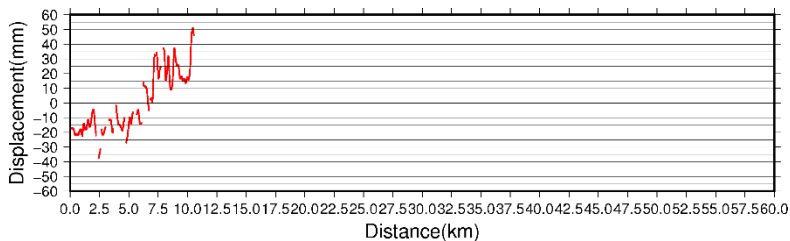
Gambar 4. 26 LOS *Displacement* 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Gambar 4.23, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami deflasi pada nilai antara 0 mm s/d -20 mm. Gambar 4.24, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami deflasi pada nilai antara -20 mm s/d -60 mm. Gambar 4.25, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami inflasi pada nilai antara 0 mm s/d 30 mm. Gambar 4.26, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami inflasi pada nilai antara 0 mm s/d 40 mm. Berdasarkan gambar 4.23, 4.24, 4.25, dan 4.26 terjadi perubahan pada permukaan badan gunung berupa penurunan dan kenaikan sebelum dan sesudah terjadinya aktivitas erupsi.

Untuk mengetahui sebaran nilai LOS *displacement* yang ada pada wilayah permukaan gunung Bromo maka di lakukan pembuatan *cross-section* pada wilayah studi.

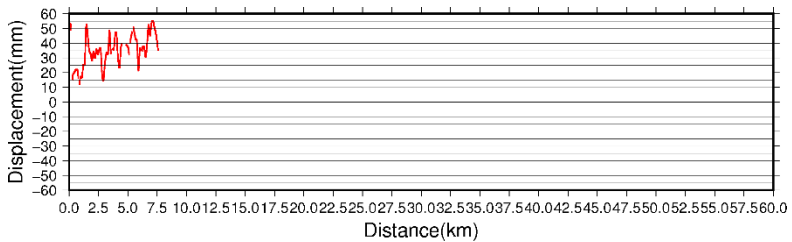


Gambar 4. 27 Peta *Cross-Section* pasangan Citra 9 November 2015 - 27 Desember 2015



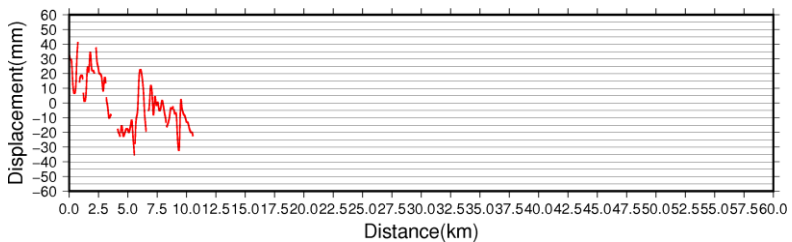
Gambar 4. 28 Grafik *Cross-section* utara (A-B) 9 November 2015 – 27 Desember 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 50 mm dan nilai minimum sebesar -35 mm.



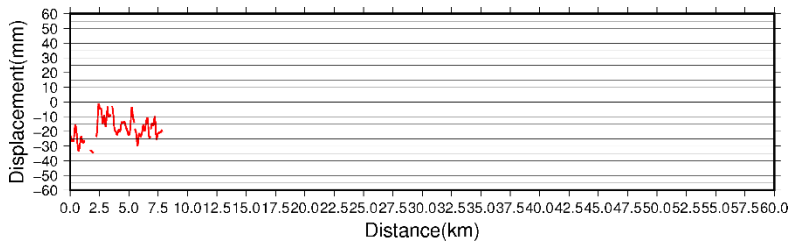
Gambar 4. 29 Grafik *Cross-section* timur (C-D) 9 November 2015 – 27 Desember 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 55 mm dan nilai minimum sebesar 11 mm.



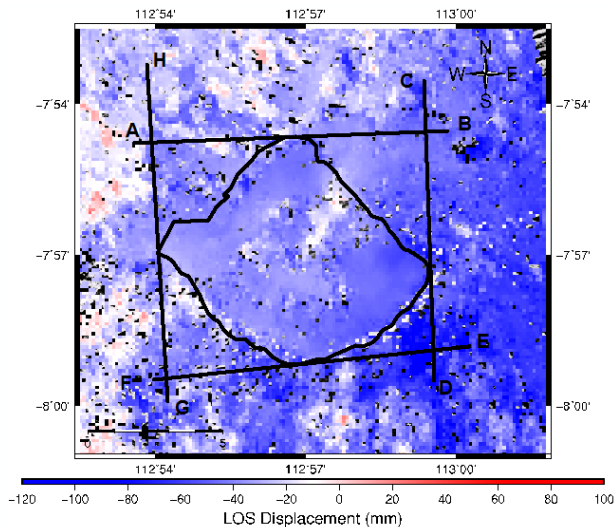
Gambar 4. 30 Grafik *Cross-section* selatan (E-F) 9 November 2015 – 27 Desember 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 41 mm dan nilai minimum sebesar -30 mm.

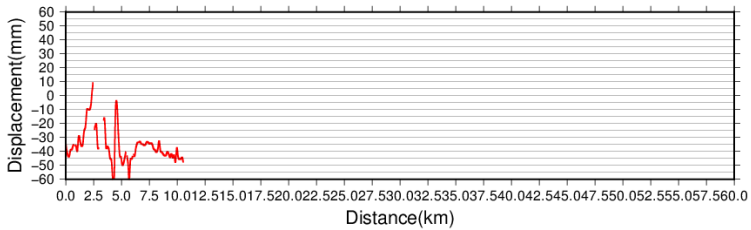


Gambar 4. 31 Grafik *Cross-section* barat (G-H) 9 November 2015 – 27 Desember 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 0 mm dan nilai minimum sebesar -35 mm.

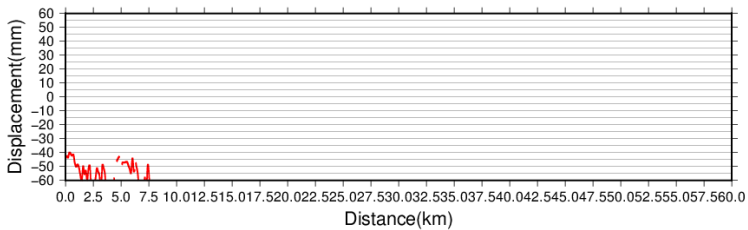


Gambar 4. 32 Peta *Cross-Section* pasangan Citra 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016



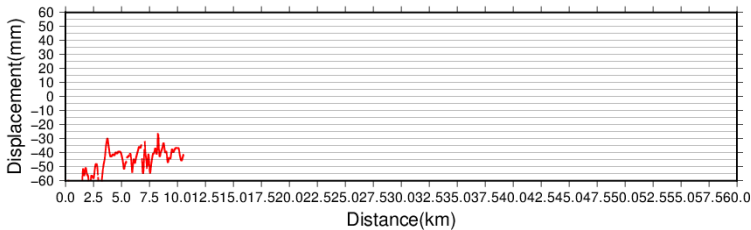
Gambar 4. 33 Grafik *Cross-section* utara (A-B) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 10 mm dan nilai minimum sebesar -60 mm.



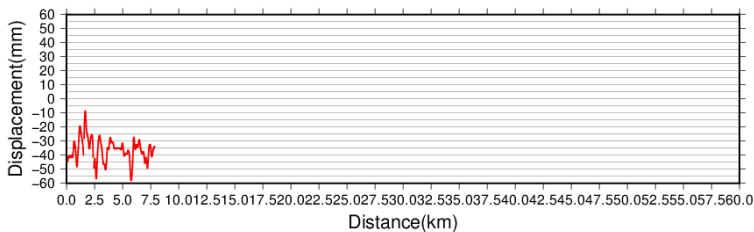
Gambar 4. 34 Grafik *Cross-section* timur (C-D) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -40 mm dan nilai minimum sebesar -60 mm.



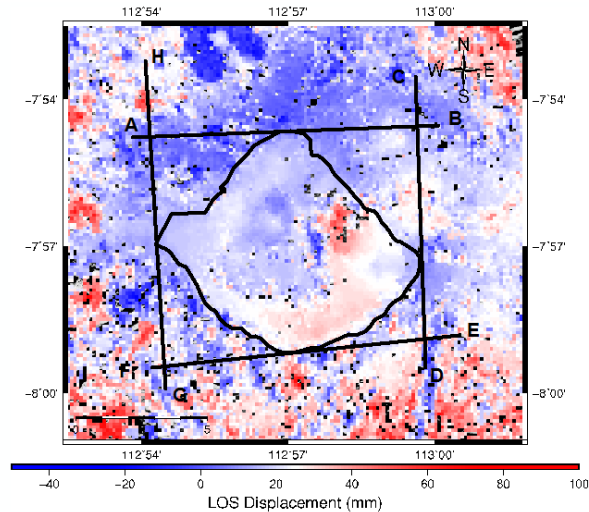
Gambar 4. 35 Grafik *Cross-section* selatan (E-F) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -25 mm dan nilai minimum sebesar -60 mm.

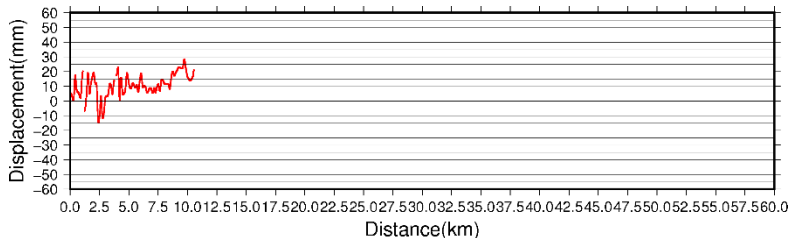


Gambar 4. 36 Grafik *Cross-section* barat (G-H) 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -9 mm dan nilai minimum sebesar -60 mm.

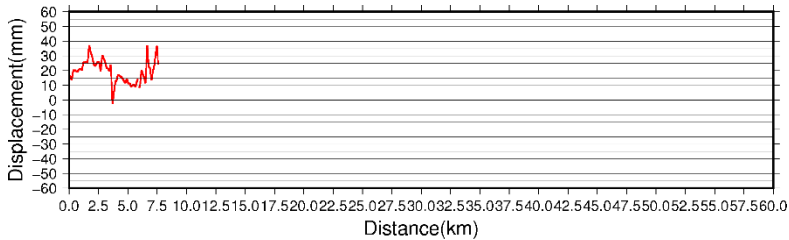


Gambar 4. 37 Peta *Cross-Section* pasangan Citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



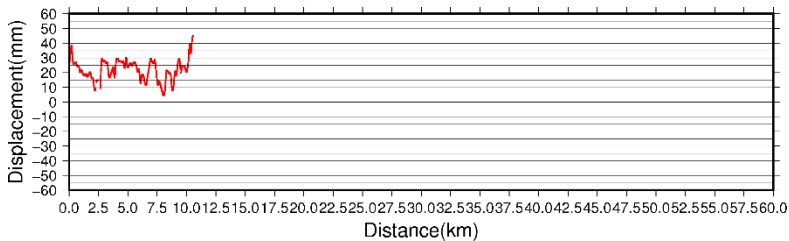
Gambar 4. 38 Grafik *Cross-section* utara (A-B) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 30 mm dan nilai minimum sebesar -15 mm.



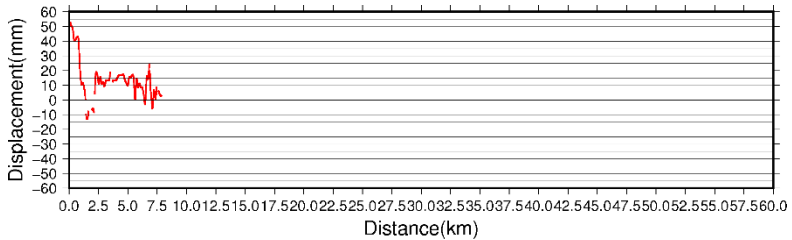
Gambar 4. 39 Grafik *Cross-section* timur (C-D) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 38 mm dan nilai minimum sebesar -3 mm.



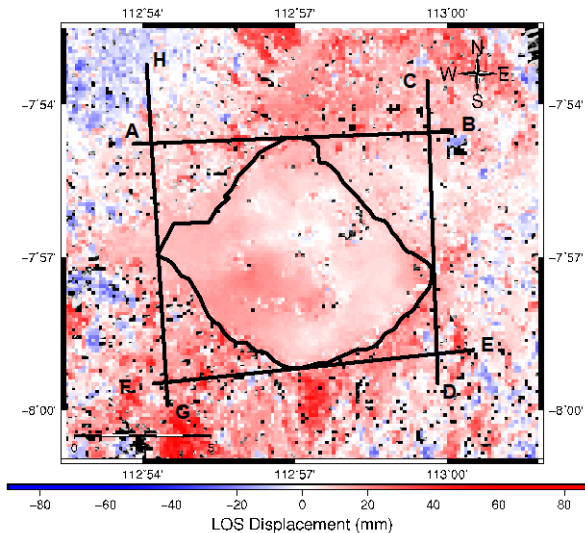
Gambar 4. 40 Grafik *Cross-section* selatan (E-F) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 45 mm dan nilai minimum sebesar -5 mm.

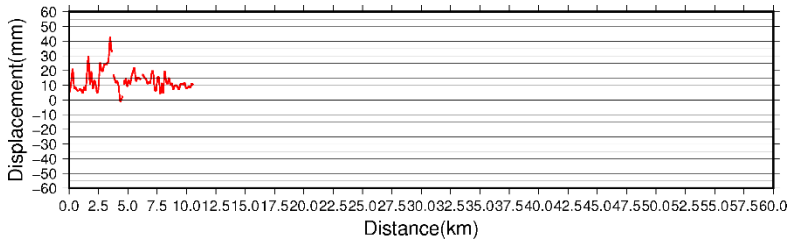


Gambar 4. 41 Grafik *Cross-section* barat (G-H) 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 54 mm dan nilai minimum sebesar -14 mm.

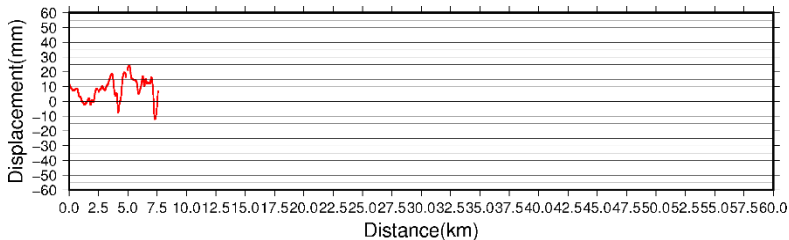


Gambar 4. 42 Peta *Cross-Section* pasangan Citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016



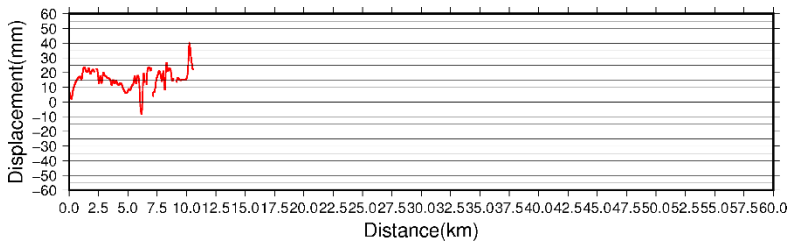
Gambar 4. 43 Grafik *Cross-section* utara (A-B) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar 44 mm dan nilai minimum sebesar -1 mm.



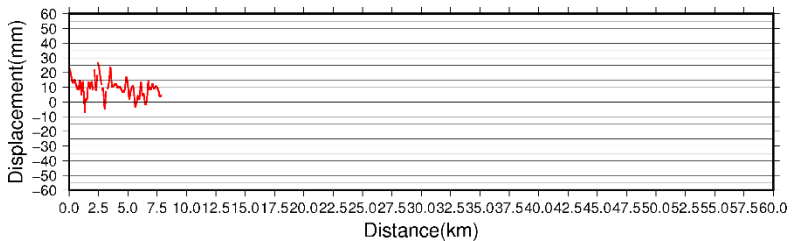
Gambar 4. 44 Grafik *Cross-section* timur (C-D) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar 25 mm dan nilai minimum sebesar -13 mm.



Gambar 4. 45 Grafik *Cross-section* selatan (E-F) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar 40 mm dan nilai minimum sebesar -9 mm.



Gambar 4. 46 Grafik *Cross-section* barat (G-H) 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

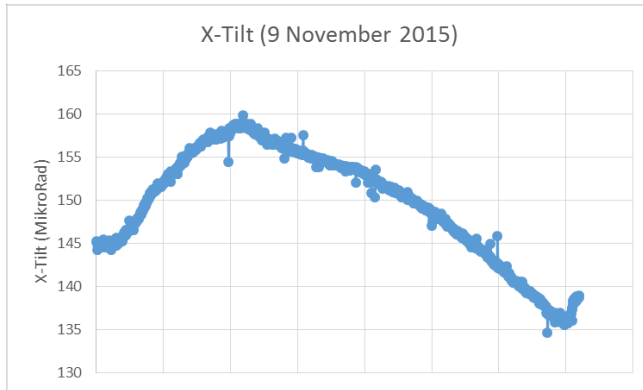
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai deformasi berdasarkan LOS *displacement* pada pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar 26 mm dan nilai minimum sebesar -8 mm.

4.2 Analisis Nilai Deformasi Dengan Data Tiltmeter

Data tiltmeter terdiri atas sudut x-tilt, sudut y-tilt, dan suhu dimana pengambilan data tiltmeter menggunakan *high resolution* tiltmeter yang dilakukan secara kontinyu setiap detik dengan ketelitian mencapai 1 mikroradian. Dari data tiltmeter yang ada,

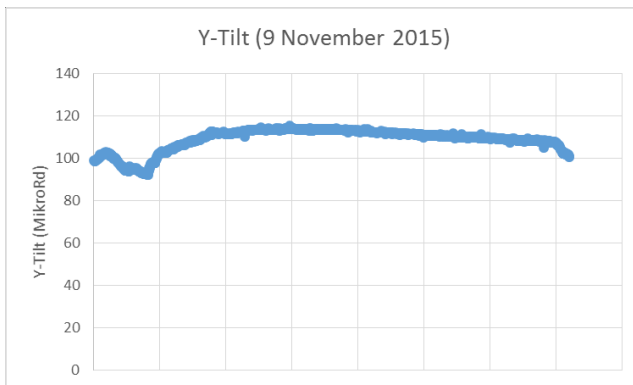
dibuat grafik dari bulan November 2015 hingga Maret 2016 sesuai dengan pengambilan data citra.

a. 9 November 2015



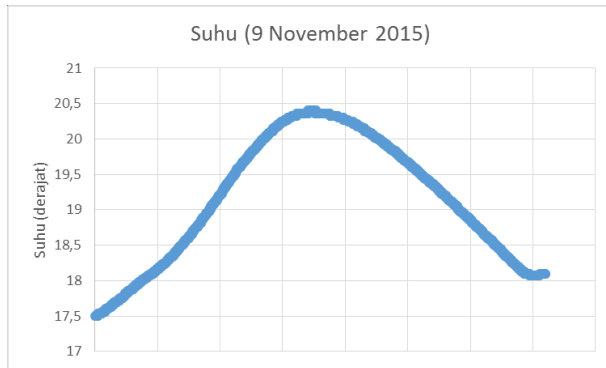
Gambar 4. 47 Grafik Sudut X-Tilt 9 November 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai X-Tilt pada 9 November 2015 dengan nilai maksimum sebesar 159,91 mikroradian dan nilai minimum 134,67 sebesar mikroradian.



Gambar 4. 48 Grafik Sudut Y-Tilt 9 November 2015

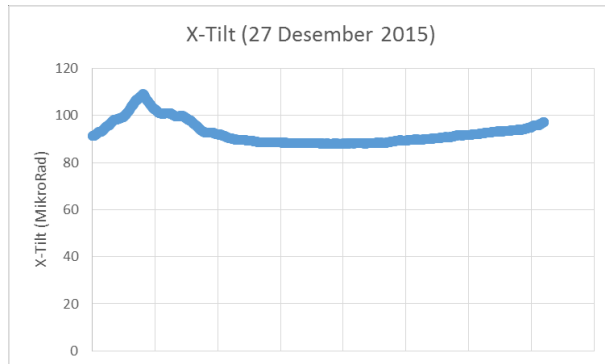
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai Y-Tilt pada 9 November 2015 dengan nilai maksimum sebesar 115,35 mikroradian dan nilai minimum sebesar 92,24 mikroradian.



Gambar 4. 49 Grafik Suhu 9 November 2015

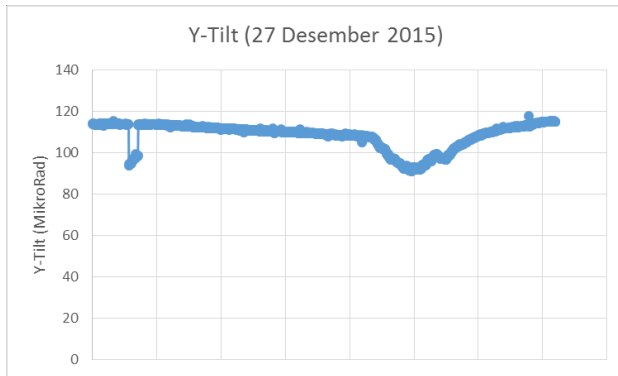
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi suhu pada 9 November 2015 dengan nilai maksimum sebesar 20,4 derajat dan nilai minimum sebesar 17,5 derajat.

b. 27 Desember 2015



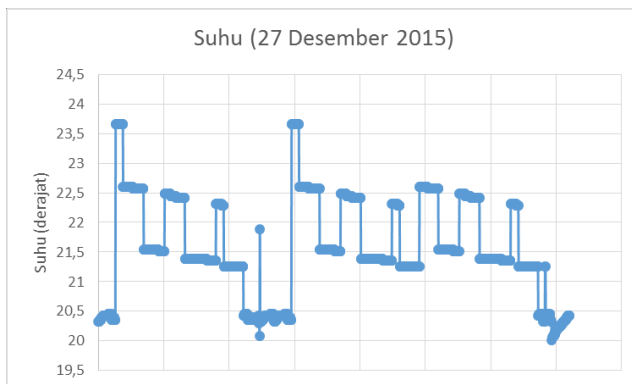
Gambar 4. 50 Grafik Sudut X-Tilt 27 Desember 2015

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai X-Tilt pada 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 109,11 mikroradian dan nilai minimum sebesar 87,96 mikroradian.



Gambar 4. 51 Grafik Sudut Y-Tilt 27 Desember 2015

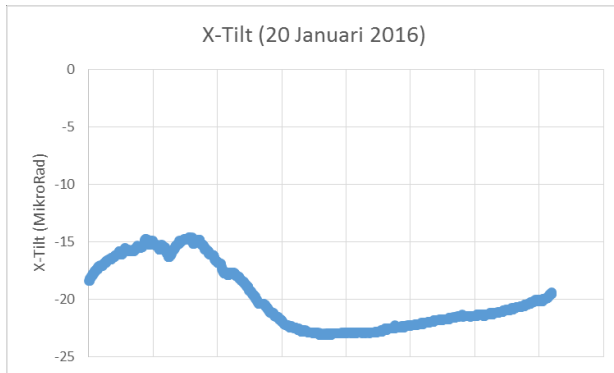
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai Y-Tilt pada 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 117,82 mikroradian dan nilai minimum sebesar 90,88 mikroradian.



Gambar 4. 52 Grafik Suhu 27 Desember 2015

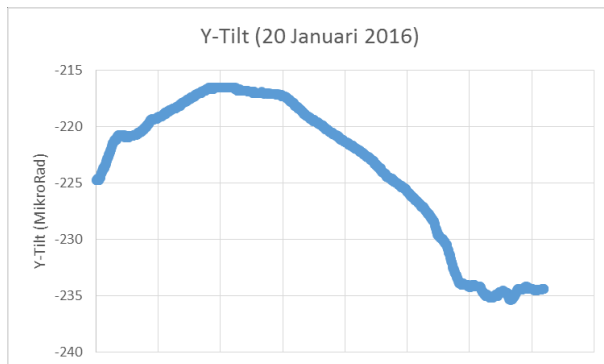
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi suhu pada 27 Desember 2015 dengan nilai maksimum sebesar 23,66 derajat dan nilai minimum sebesar 20,02 derajat.

c. 20 Januari 2016



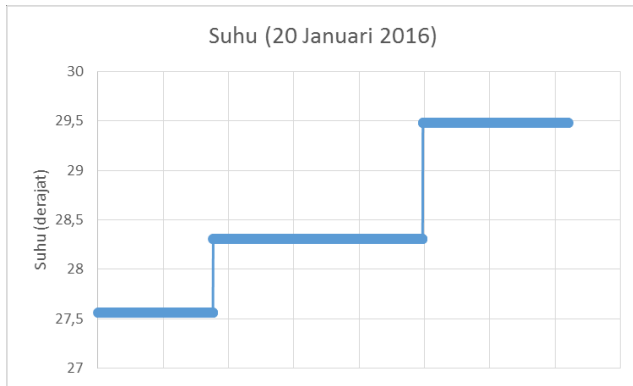
Gambar 4. 53 Grafik Sudut X-Tilt 20 Januari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai X-Tilt pada 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -14,60 mikroradian dan nilai minimum sebesar -23,11 mikroradian.



Gambar 4. 54 Grafik Sudut Y-Tilt 20 Januari 2016

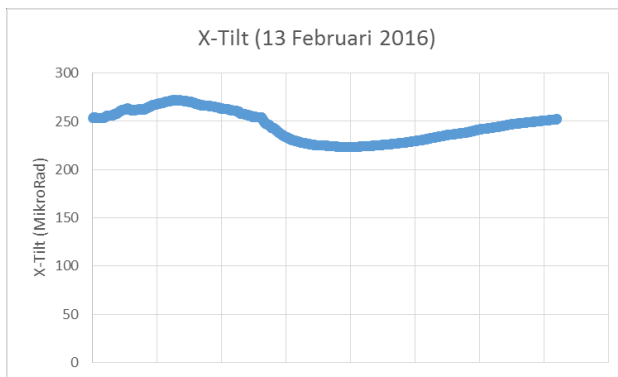
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai Y-Tilt pada 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -216,51 mikroradian dan nilai minimum sebesar -235,44 mikroradian.



Gambar 4. 55 Grafik Suhu 20 Januari 2016

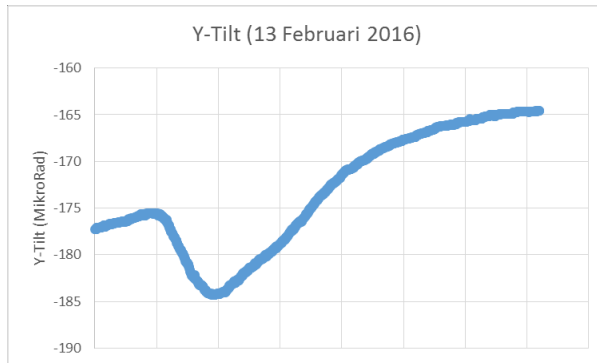
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi suhu pada 20 Januari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 29,48 derajat dan nilai minimum sebesar 27,56 derajat.

d. 13 Februari 2016



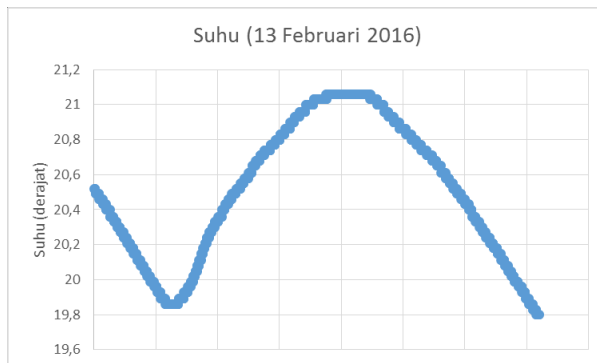
Gambar 4. 56 Grafik Sudut X-Tilt 13 Februari 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai X-Tilt pada 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 272,04 mikroradian dan nilai minimum sebesar 223,45 mikroradian.



Gambar 4. 57 Grafik Sudut Y-Tilt 13 Februari 2016

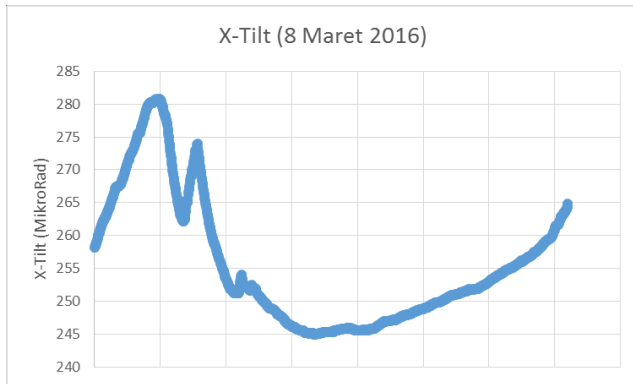
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai Y-Tilt pada 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar -164,54 mikroradian dan nilai minimum sebesar -184,33 mikroradian.



Gambar 4. 58 Grafik Suhu 13 Februari 2016

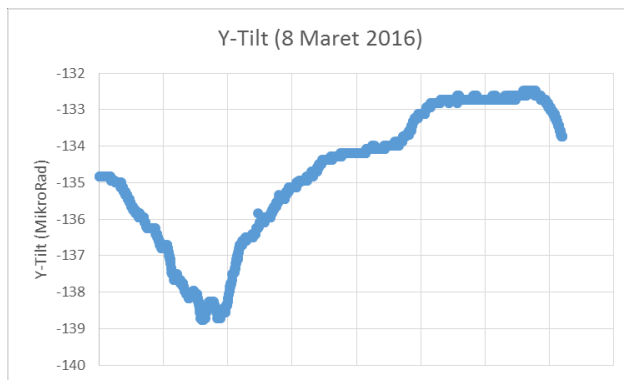
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi suhu pada 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 21,06 derajat dan nilai minimum sebesar 19,8 derajat.

e. 8 Maret 2016



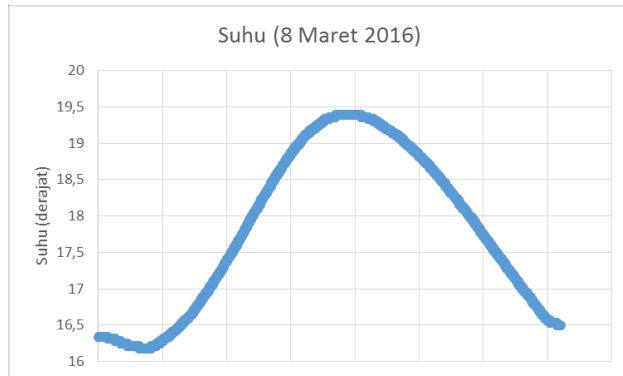
Gambar 4. 59 Grafik Sudut X-Tilt 8 Maret 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai X-Tilt pada 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar 280,85 mikroradian dan nilai minimum sebesar 244,95 mikroradian.



Gambar 4. 60 Grafik Sudut Y-Tilt 8 Maret 2016

Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi nilai Y-Tilt pada 8 Maret 2016 dengan nilai maksimum sebesar -132,47 mikroradian dan nilai minimum sebesar 138,76 mikroradian.



Gambar 4. 61 Grafik Suhu 8 Maret 2016

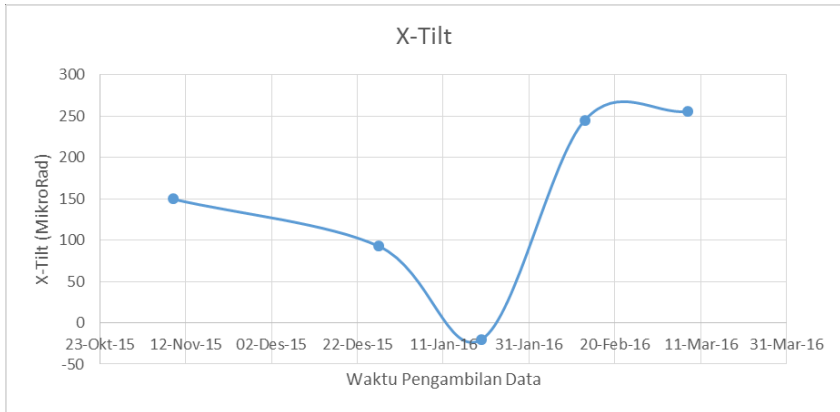
Berdasarkan gambar di atas terjadi terjadi fluktuasi suhu pada 13 Februari 2016 dengan nilai maksimum sebesar 19,39 derajat dan nilai minimum sebesar 16,18 derajat.

Berdasarkan gambar 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, dan 4.41 dibuat nilai rata-rata sudut x-tilt, sudut y-tilt, dan suhu untuk masing-masing bulan seperti yang tertera pada tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata Sudut X-Tilt, Sudut Y-Tilt, dan Suhu

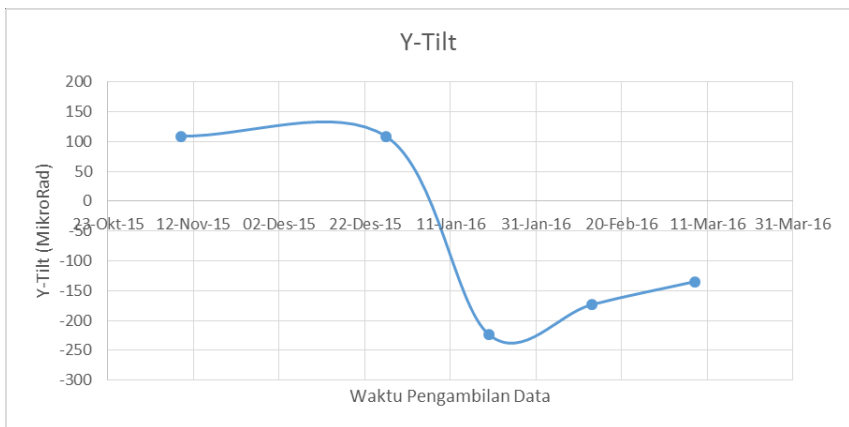
Tanggal	X-Tilt (MikroRad)	X-Tilt (Derajat)	Y-Tilt (MikroRad)	Y-Tilt (Derajat)	Suhu (Derajat)
09-Nov-15	149,6848993	0,008576346	108,8399657	0,006236095	19,15311111
27-Dec-15	92,6283125	0,005307232	108,2885982	0,006204504	21,59079861
20-Jan-16	-19,87273493	-0,001138628	-223,599775	-0,012811373	28,48904167
13-Feb-16	245,1676542	0,014047126	-173,2486104	-0,009926452	20,50572222
08-Mar-16	255,5303854	0,014640869	-134,7707715	-0,007721826	17,82139583

Berdasarkan tabel 4.2 dibuat grafik nilai rata-rata sudut x-tilt, sudut y-tilt, dan suhu untuk melihat pola perubahan seperti pada gambar 4.42, 4.43, dan 4.44 :



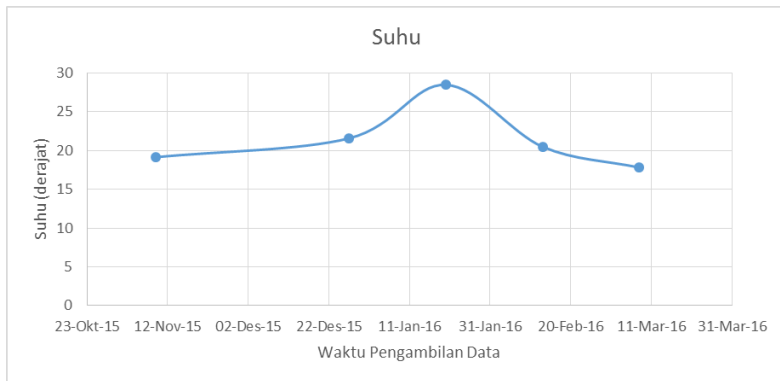
Gambar 4. 62 Grafik Nilai Rata-rata Sudut X-Tilt

Berdasarkan gambar 4.42 terjadi maksimum inflasi sebesar 255,53 mikroradian pada bulan Maret dan maksimum deflasi sebesar -19,87 mikroradian pada bulan Januari.



Gambar 4. 63 Grafik Nilai Rata-rata Sudut Y-Tilt

Berdasarkan gambar 4.43 terjadi maksimum inflasi sebesar 108,84 mikroradian pada bulan November dan maksimum deflasi sebesar -223,60 mikroradian pada bulan Januari.



Gambar 4. 64 Grafik Nilai Rata-rata Suhu

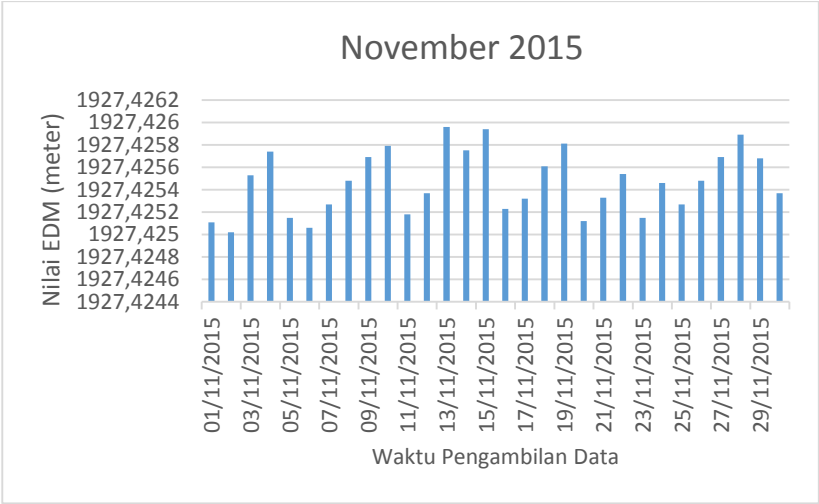
Berdasarkan gambar 4.44 terjadi maksimum suhu sebesar 28,48904167 derajat pada bulan Januari.

Berdasarkan gambar 4.42, 4.43, dan 4.44 menunjukkan terjadinya perubahan nilai pergeseran permukaan baik dari arah vertikal maupun horizontal serta peningkatan aktivitas di dapur magma.

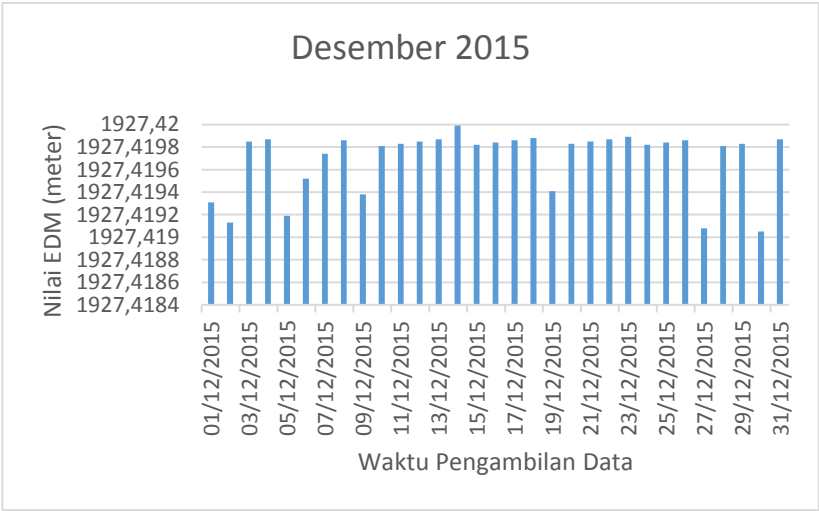
4.3 Analisis Nilai Deformasi Dengan Data EDM

Gunung bromo memiliki sembilan BM yaitu BM Batok, BM Bromo, BM Kursi, BM Wido, BM Wedi, BM Watu, BM TNGA, BM Pura, dan BM Post dimana BM Post dijadikan sebagai titik referensi. Pengukuran EDM menggunakan tiga BM yaitu BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi. Pengukuran menggunakan EDM dilakukan selama 30 hari dari bulan November 2015 hingga Maret 2016. Dari data EDM yang ada, dibuat grafik untuk masing-masing bulan seperti pada gambar 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58 dan 4.59 :

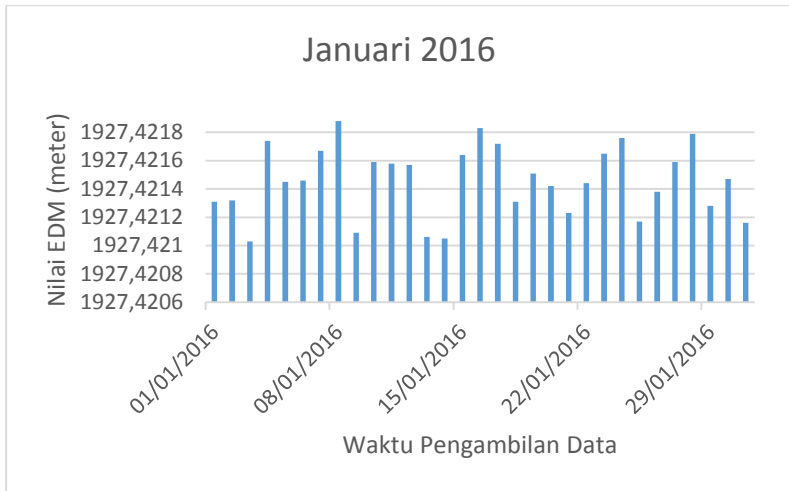
- a. BM Batok



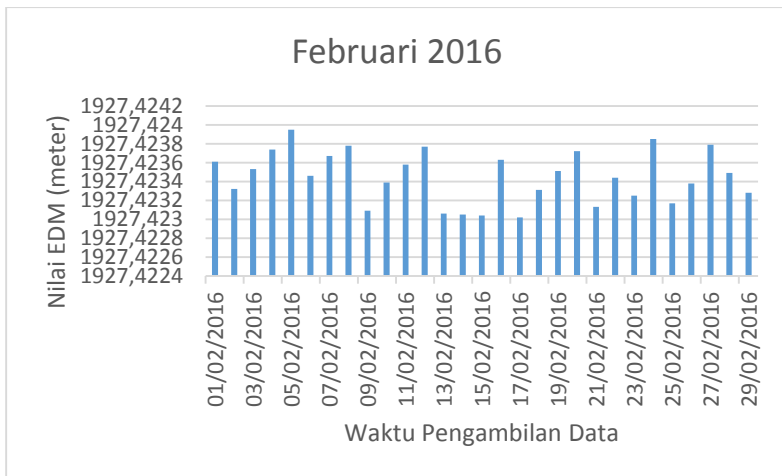
Gambar 4. 65 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan November 2015



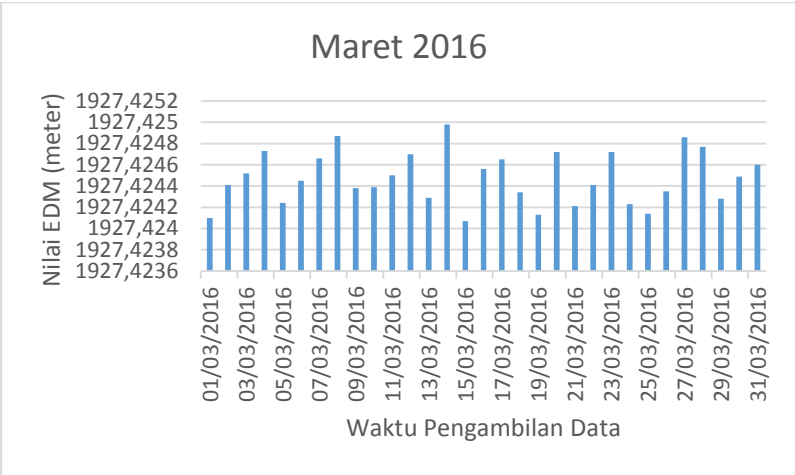
Gambar 4. 66 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Desember 2015



Gambar 4. 67 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Januari 2016

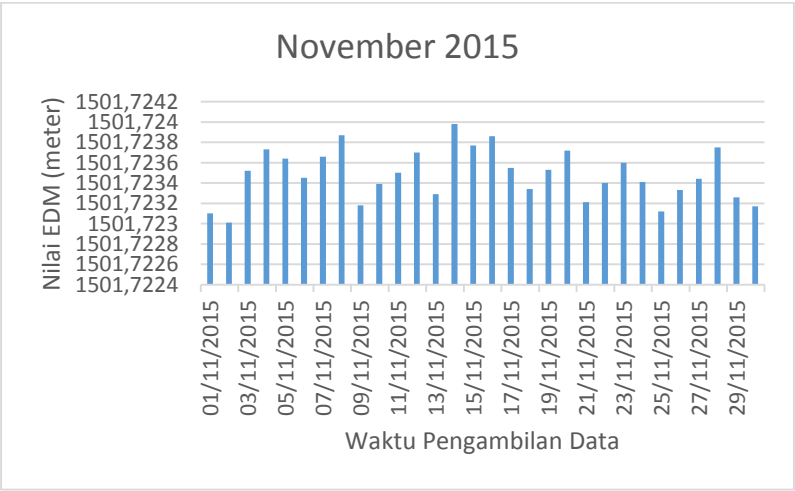


Gambar 4. 68 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Februari 2016

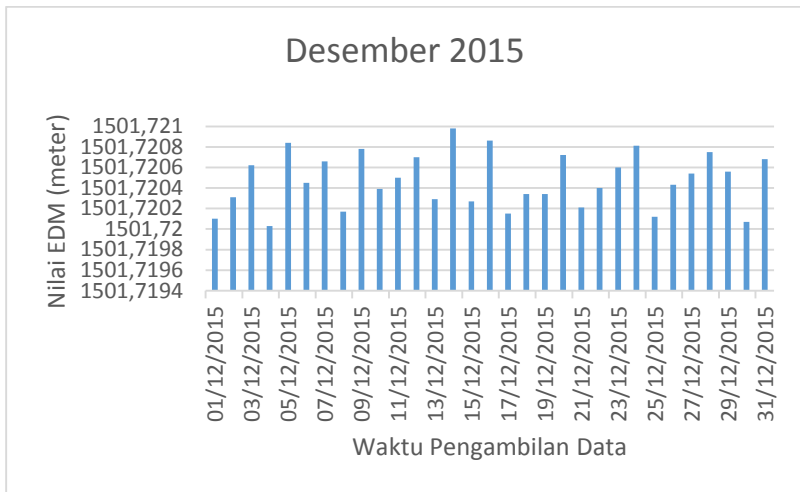


Gambar 4. 69 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Batok Bulan Maret 2016

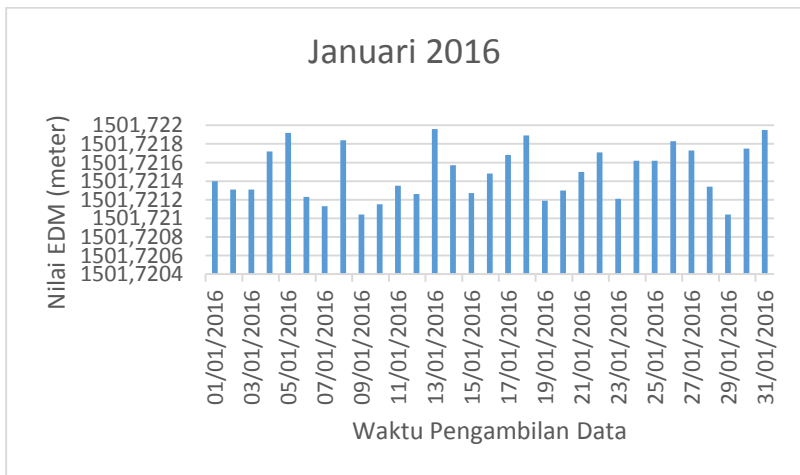
b. BM Bromo



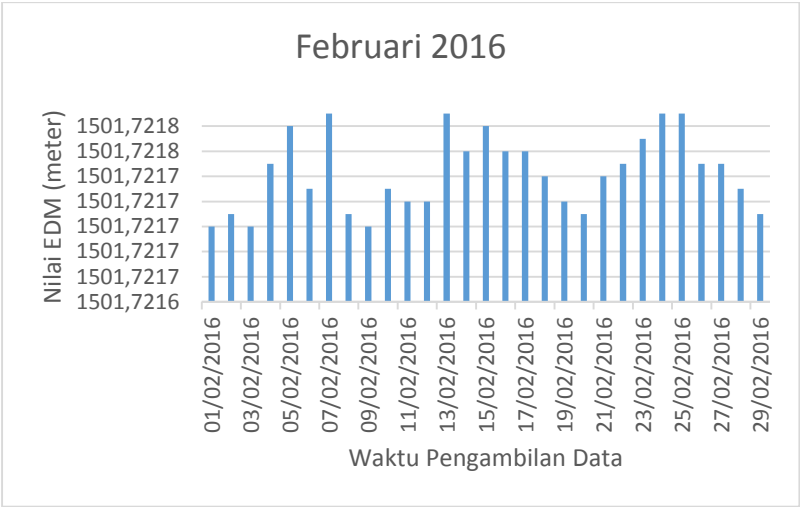
Gambar 4. 70 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan November 2015



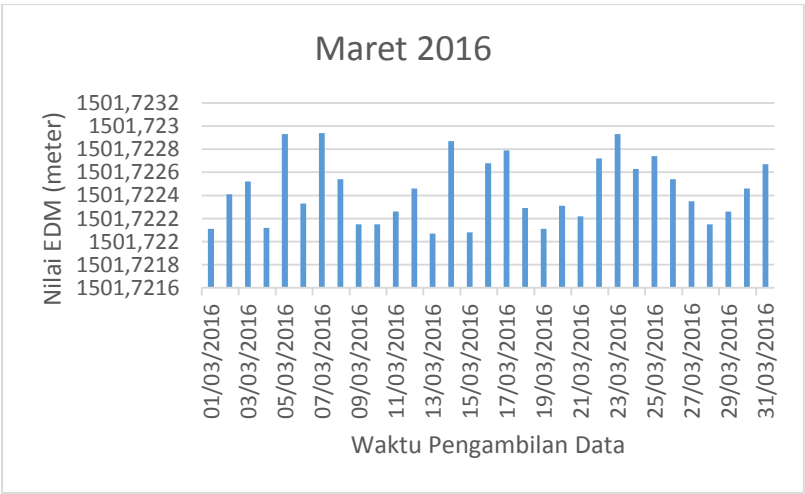
Gambar 4. 71 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Desember 2015



Gambar 4. 72 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Januari 2016

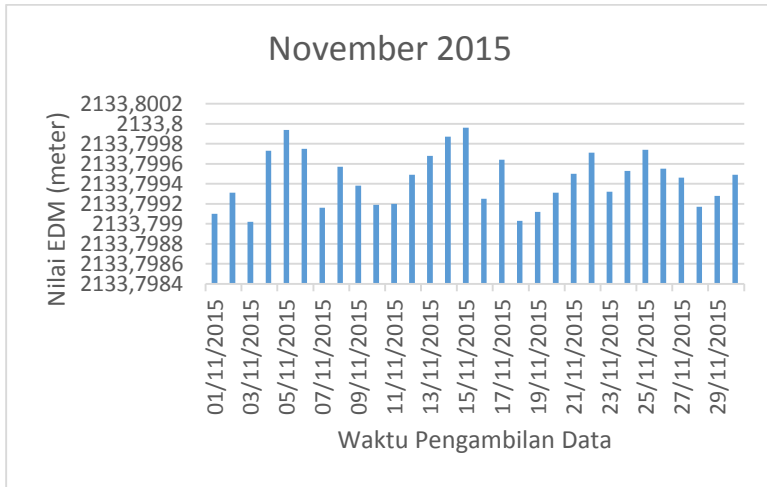


Gambar 4. 73 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Februari 2016

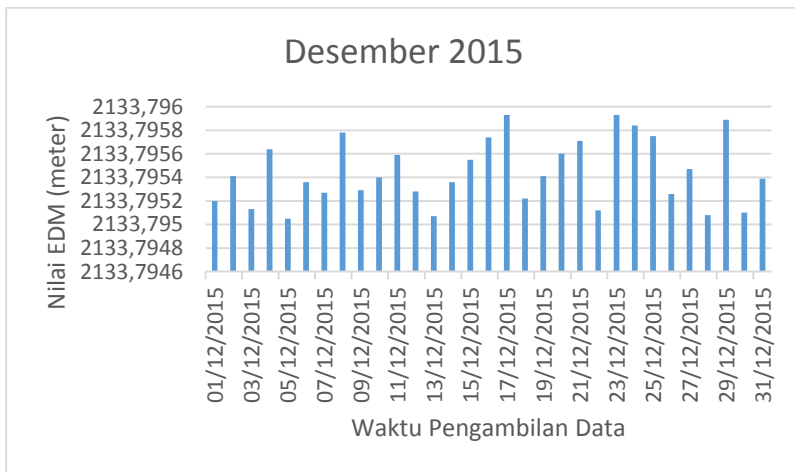


Gambar 4. 74 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Bromo Bulan Maret 2016

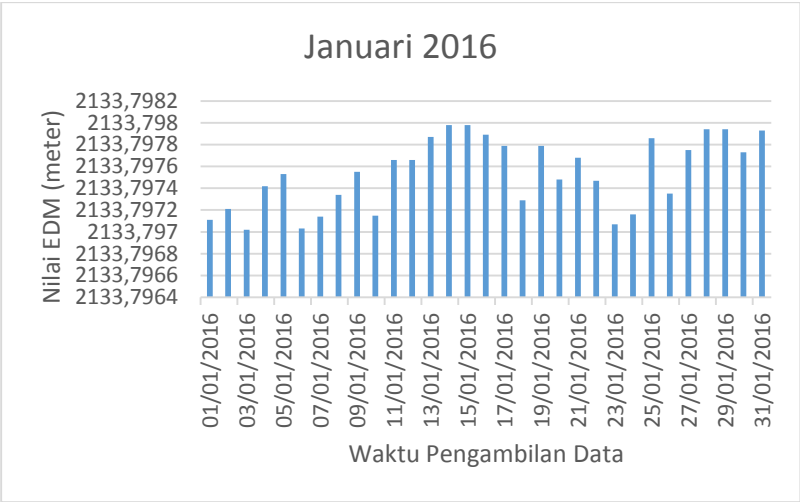
c. BM Kursi



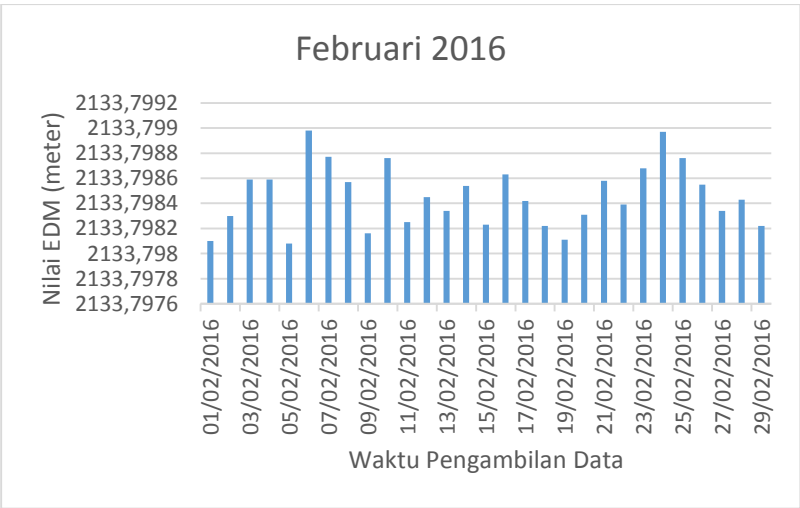
Gambar 4. 75 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan November 2016



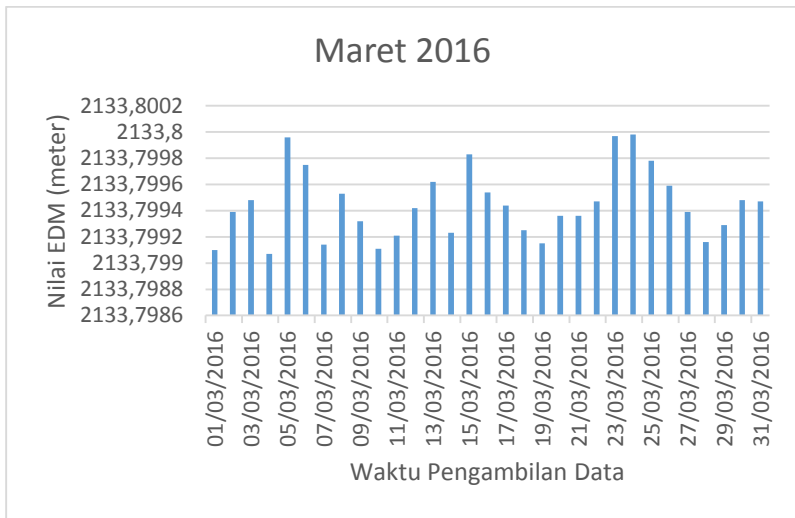
Gambar 4. 76 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Desember 2015



Gambar 4. 77 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Januari 2016



Gambar 4. 78 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Februari 2016



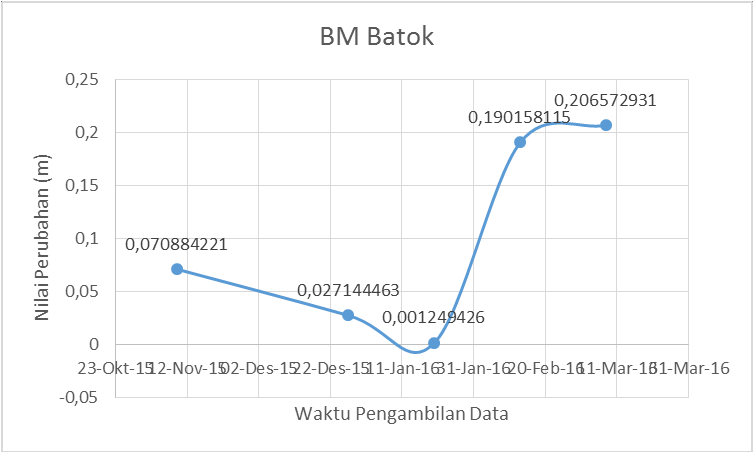
Gambar 4. 79 Grafik Hasil Pengukuran Jarak BM Kursi Bulan Maret 2016

Berdasarkan grafik yang terdapat pada gambar 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, dan 4.55 dibuat tabel nilai perubahan pada BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi sesuai dengan pengambilan data citra seperti yang tertera pada tabel 4.3 :

Tabel 4. 3 Nilai Perubahan Pada BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi

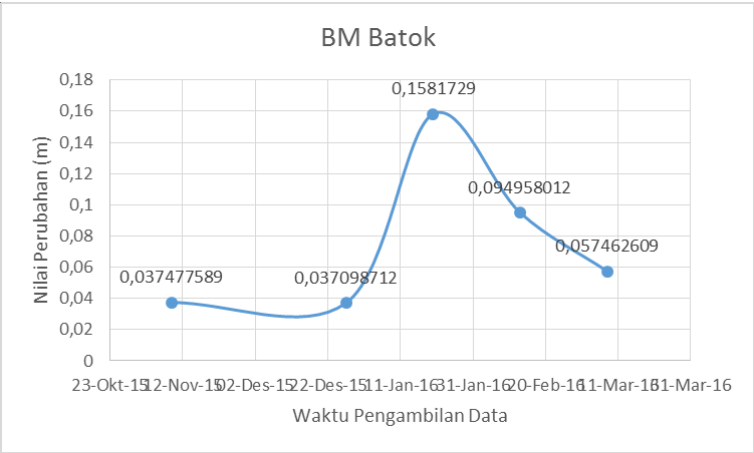
Tanggal	Perubahan BM Batok (m)		Perubahan BM Bromo (m)		Perubahan BM Kursi (m)	
	Dari X	Dari Y	Dari X	Dari Y	Dari X	Dari Y
09-Nov-15	0,070884221	0,037477589	0,055228318	0,029200069	0,07847395	0,041490396
27-Des-15	0,027144463	0,037098712	0,021149213	0,028904922	0,030050928	0,041071018
20-Jan-16	0,001249426	0,1581729	0,000973471	0,123238027	0,001383207	0,175109051
13-Feb-16	0,190158115	0,094958012	0,148158747	0,073985063	0,210518946	0,105125467
08-Mar-16	0,206572931	0,057462609	0,160948026	0,044771081	0,228691261	0,063615288

Berdasarkan tabel 4.3 dibuat grafik nilai perubahan pada BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi dari sumbu X dan Y sesuai pengambilan data citra seperti pada gambar 4.60, 4.61, dan 4.62 :



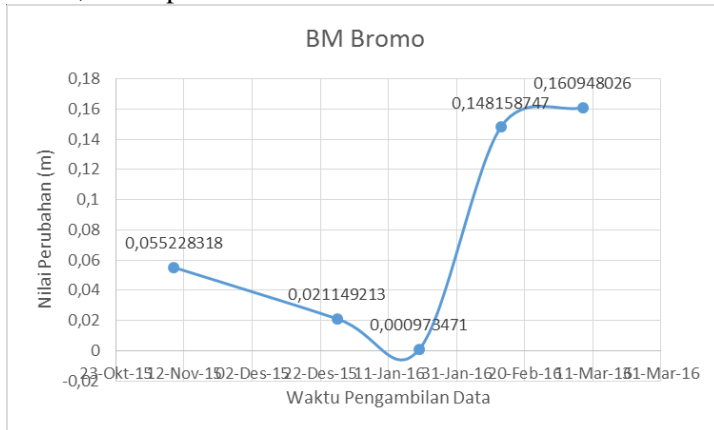
Gambar 4. 80 Grafik Nilai Perubahan BM Batok Dari Sumbu X

Berdasarkan gambar 4.60 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,206 m pada bulan Maret dan perubahan minimum sebesar 0,001 m pada bulan Januari.



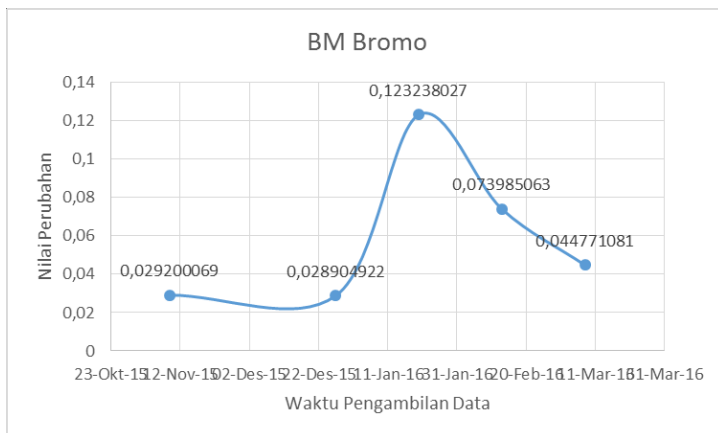
Gambar 4. 81 Grafik Nilai Perubahan BM Batok Dari Sumbu Y

Berdasarkan gambar 4.61 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,158 m pada bulan Januari dan perubahan minimum sebesar 0,037 m pada bulan Desember.



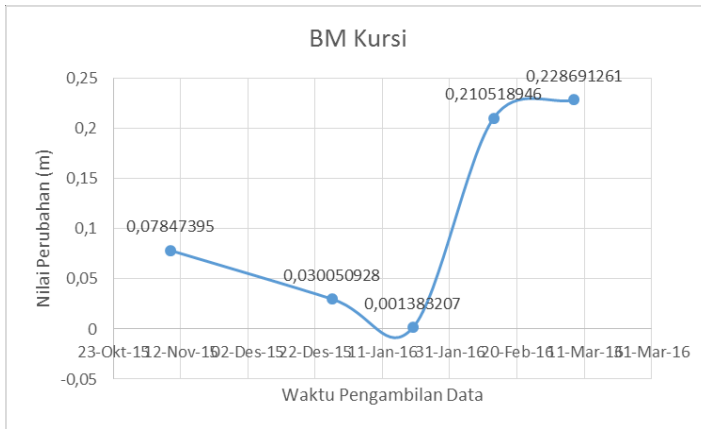
Gambar 4. 82 Grafik Nilai Perubahan BM Bromo Dari Sumbu X

Berdasarkan gambar 4.62 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,160 m pada bulan Maret dan perubahan minimum sebesar 0,0009 m pada bulan Januari.



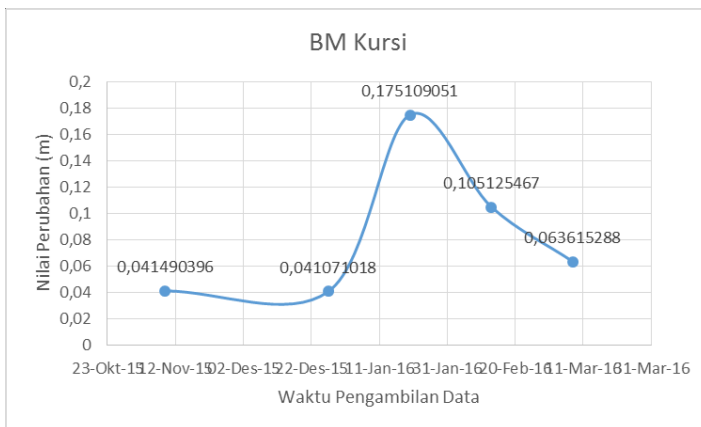
Gambar 4. 83 Grafik Nilai Perubahan BM Bromo Dari Sumbu Y

Berdasarkan gambar 4.63 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,123 m pada bulan Januari dan perubahan minimum sebesar 0,028 m pada bulan Januari.



Gambar 4. 84 Grafik Nilai Perubahan BM Kursi Dari Sumbu X

Berdasarkan gambar 4.64 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,228 m pada bulan Maret dan perubahan minimum sebesar 0,001 m pada bulan Januari.



Gambar 4. 85 Grafik Nilai Perubahan BM Kursi Dari Sumbu Y

Berdasarkan gambar 4.65 terjadi perubahan maksimum sebesar 0,175 m pada bulan Januari dan perubahan minimum sebesar 0,041 m pada bulan Desember.

Berdasarkan gambar 4.60, 4.61, 4.62, 4.63, 4.64, dan 4.65 terjadi perubahan nilai di masing-masing titik BM selama bulan November 2015 (sebelum aktivitas erupsi) hingga Maret 2016 (setelah aktivitas erupsi).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian tugas akhir ini :

1. Metode *two pass* pada teknologi DInSAR dapat merefleksikan peningkatan aktivitas di Gunung Bromo untuk mengetahui besar nilai deformasi di wilayah permukaan Gunung Bromo khususnya di sekitar kaldera dengan ketelitian sub-milimeter.
2. Berdasarkan hasil pengolahan DInSAR, besar deformasi berdasarkan *LOS displacement* pada 9 November 2015 - 27 Desember 2015 sebesar 0 mm s/d -20 mm, 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016 sebesar -20 mm s/d -60 mm, 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 sebesar 0 mm s/d 30 mm, 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 sebesar 0 mm s/d 40 mm.
3. Berdasarkan analisis data Tiltmeter, terjadi fluktuasi nilai rata-rata sudut x-tilt, sudut y-tilt dan suhu selama November 2015 hingga Maret 2016, hal ini mengindikasikan jika terjadi perubahan nilai pergeseran permukaan baik dari arah vertikal maupun horizontal serta peningkatan aktivitas pada dapur magma.
4. Berdasarkan analisis data EDM, terjadi fluktuasi perubahan nilai pada BM Batok, BM Bromo, dan BM Kursi selama November 2015 (sebelum erupsi) hingga Maret 2016 (setelah erupsi), hal ini mengindikasikan jika terjadi perubahan nilai di masing-masing titik BM.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain :

- a. Dianjurkan untuk penelitian selanjutnya dibutuhkan data pembanding tambahan berupa data GPS untuk melakukan uji validasi dan mengetahui keakuratan nilai deformasi hasil dari pengolahan teknik DInSAR, dikarenakan hasil yang diperoleh dari pengolahan citra SAR tidaklah cukup.
- b. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan metode *time-series* untuk mengetahui pola deformasi dari Gunung Bromo sendiri lebih lanjut.
- c. Sebaiknya gunakan teknik yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya, yaitu teknik *PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometry SAR)*, karena pengolahan data SAR dengan teknik DInSAR masih memiliki kesalahan atau dekorelasi berupa dekorelasi temporal, atmosferik, serta *noise*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Jones, A. dan Kahar, J., 2000, *Survei dengan GPS*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, ISBN 979-408-380-1, Second Edition.
- AGI, 2007, User's Manual Model 700 Tiltmeter Applied Geomechanics Incorporated.
- Andreas, H. 2007. Karakteristik Deformasi Strain dan Stress. Bandung: Geodesi dan Geomatika ITB.
- Anjasmara.2013. Deformation Study. Surabaya : Teknik Geomatika ITS
- Beauducel, F., Briole, P., dan Froger, J. 2000. Volcano-wide Fringes in ERS Interferograms of Etna (1992-1998) : Deformation or Tropospheric Effect Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. B7: 16391-16402
- Bronto, S., 2010. *Geologi Gunung Api Purba*. Publikasi Khusus Badan Geologi, Kementerian ESDM, Bandung, h. 1-45.
- Chang-Wook, L., Zhong, L., Hyung-Sup, J., dan Oh-Ig, K. 2008. "Surface Displacements of The St. Augustine Volcano, Alaska, Measured From an DInSAR and GPS Data". 7th European Conference (EUSAR).
- Delacourt, C., Briole, P., dan Achache, J. 1998. "Tropospheric Corrections of SAR Interferograms with Strong Topography. Application to Etna". Geophysical Research Letters, Vol. 25, No.15 : 2849-2852.
- ESA. 2013. *Sentinel-1 User Handbook*, diunduh 3 Mei 2017 dari https://sentinel.esa.int/document/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca , F. 2007. Part B InSAR Processing : a Practical Approach. The Netherlands: ESA Publications.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca, F. 2007. Part A InSAR Principles : Guidelines for SAR Interferometry

- Processing and Interpretation. The Netherlands: ESA Publications.
- Goldstein, R.M., and C.L. Werner, Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science*, 23, 713-720, 1988.
- Haniah, Y. 2011. "Pengenalan Teknologi Radar Untuk Pemetaan Spasial Di Kawasan Tropis". *TEKNIK* – Vol. 32 No.2.
- Hanssen, R. 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* Vol. 2. Springer.
- I. Pratomo. 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api Dalam Sejarah. *Jurnal Indonesian Journal on Geoscience*, Vol. 1 No. 4, 209-227.
- Ismullah, I. 2004. "Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Aperture Sintetik Interferometri InSAR Data Satelit". *Sains & Tek.* Vol. 36 A, No.1 : 11-32.
- Jamel, I., Meilano, I., Gumilar, I., Sarsito, D., dan Abidin, H. 2013. "Analisis Deformasi Gunung Api Papandayan Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002 – 2011". *Indonesian Journal Of Geospatial* Vol. 2 No. 3.
- Kusman, A. 2008. *Studi Deformasi Gunung Api Batur dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri InSAR*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB.
- Maraden, H. 2012. *Penggunaan Metode InSAR Diferensial Untuk Pemantauan Deformasi Erupsi Gunung Merapi Pada Tahun 2010*. Bandung: Department of Geodetic Engineering ITB.
- Massonet, D., dan Feigl, K. 1998. "Radar Interferometry and Its Application to changes in the Earth's Surface". *Reviews of Geophysics* 36, 441-500.
- Mura, J., Paradella, W., Gama, F., Santos, A., Galo, M., Camargo, P., Silva, A., Silva, G. 2014. "Monitoring of Surface Deformation in Open Pit Mine Using DInSAR Time-

- Series: A Case Study in the N5W Iron Mine (Carajás, Brazil) Using TerraSAR-X Data”. Proc. of SPIE Vol. 9243. SPIE.
- Papageorgiou, E., Fournelis, M., dan Parcharidis, I. 2012. “Long- and Short-Term Deformation Monitoring of Santorini Volcano: Unrest Evidence by DInSAR Analysis”. IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, Vol. 5, No. 5: 1531-1537.
- Rivera, A., Amelung, F., dan Eco, R. 2016. “Volcano Deformation and Modeling on Active Volcanoes in The Philippines From Alos InSAR Time Series”. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 17(7).
- Rusydy, Ibnu. 2012. Kembang-Kempis Gunung Api. <URL: <http://www.ibnurusydy.com/kembang-kempis-gunungapi/>>. Dikunjungi pada tanggal 10 Juni 2017, jam 22:45.
- Sandwell, D. ., R. . Mellors, X. Tong, M. Wei, dan P. Wessel (2011), *Open Radar Interferometry Software for Mapping Surface Deformation*, Eos Trans. AGU, 92(28), doi:10.1029/2011EO280002.
- Sari, A. 2014. Metode Differential Interferometry Synthetic Aparture Radar DInSAR untuk Analisa Deformasi Di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tamm, T., Zalite, K., Voormansik, K., dan Talgre, L. 2016. “Relating Sentinel-1 Interferometric Coherence to Mowing Events on Grasslands”. *Remote Sensing*.
- Topex. 2016. *GMT-SAR*, diakses 8 Mei 2017 dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>.
- Ulum, F., dan Setyati, D. 2015. “Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Epifit di Gunung Raung, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia”. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 16: 7-12.
- Wegmüller, U., Walter, D., Spreckels, V., Werner, C.L., 2015. Nonuniform ground motion monitoring with TerraSAR-X

- persistent scatterer interferometry. IEEE TGRS 48, 895–904.
- Y. Wismaya, I. Anjasmara. 2016. Analisis Deformasi Gunung Merapi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Februari-Juli 2015. Surabaya: Teknik Geomatika ITS.
- Yudha, E., Mulyo, B., Yuwono, dan Wiweka. 2011. “Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi InSAR”. Digilib ITS.
- Zebker, H, Amelung, F., dan Jonsson, S. 2000. “Remote Sensing of Volcano Surface and Internal Processes Using Radar Interferometry”. Remote Sensing of Active Volcanism Geophysical Monograph 116: 179-205.
- Zhou, X., Chang, N., & Li, S. 2009. “Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research”. Sensors, 9 : 1876-1912 ; doi:10.3390/s90301876

BM Batok

Nov-15		Des-15		Jan-15		Feb-15		Mar-16	
01/11/2015	1927,42511	01/12/2015	1927,41931	01/01/2016	1927,42131	01/02/2016	1927,42361	01/03/2016	1927,4241
02/11/2015	1927,42502	02/12/2015	1927,41913	02/01/2016	1927,42132	02/02/2016	1927,42332	02/03/2016	1927,42441
03/11/2015	1927,42553	03/12/2015	1927,41985	03/01/2016	1927,42103	03/02/2016	1927,42353	03/03/2016	1927,42452
04/11/2015	1927,42574	04/12/2015	1927,41987	04/01/2016	1927,42174	04/02/2016	1927,42374	04/03/2016	1927,42473
05/11/2015	1927,42515	05/12/2015	1927,41919	05/01/2016	1927,42145	05/02/2016	1927,42395	05/03/2016	1927,42424
06/11/2015	1927,42506	06/12/2015	1927,41952	06/01/2016	1927,42146	06/02/2016	1927,42346	06/03/2016	1927,42445
07/11/2015	1927,42527	07/12/2015	1927,41974	07/01/2016	1927,42167	07/02/2016	1927,42367	07/03/2016	1927,42466
08/11/2015	1927,42548	08/12/2015	1927,41986	08/01/2016	1927,42188	08/02/2016	1927,42378	08/03/2016	1927,42487
09/11/2015	1927,42569	09/12/2015	1927,41938	09/01/2016	1927,42109	09/02/2016	1927,42309	09/03/2016	1927,42438
10/11/2015	1927,42579	10/12/2015	1927,41981	10/01/2016	1927,42159	10/02/2016	1927,42339	10/03/2016	1927,42439
11/11/2015	1927,42518	11/12/2015	1927,41983	11/01/2016	1927,42158	11/02/2016	1927,42358	11/03/2016	1927,4245
12/11/2015	1927,42537	12/12/2015	1927,41985	12/01/2016	1927,42157	12/02/2016	1927,42377	12/03/2016	1927,4247
13/11/2015	1927,42596	13/12/2015	1927,41987	13/01/2016	1927,42106	13/02/2016	1927,42306	13/03/2016	1927,42429
14/11/2015	1927,42575	14/12/2015	1927,41999	14/01/2016	1927,42105	14/02/2016	1927,42305	14/03/2016	1927,42498
15/11/2015	1927,42594	15/12/2015	1927,41982	15/01/2016	1927,42164	15/02/2016	1927,42304	15/03/2016	1927,42407
16/11/2015	1927,42523	16/12/2015	1927,41984	16/01/2016	1927,42183	16/02/2016	1927,42363	16/03/2016	1927,42456

17/11/2015	1927,42532	17/12/2015	1927,41986	17/01/2016	1927,42172	17/02/2016	1927,42302	17/03/2016	1927,42465
18/11/2015	1927,42561	18/12/2015	1927,41988	18/01/2016	1927,42131	18/02/2016	1927,42331	18/03/2016	1927,42434
19/11/2015	1927,42581	19/12/2015	1927,41941	19/01/2016	1927,42151	19/02/2016	1927,42351	19/03/2016	1927,42413
20/11/2015	1927,42512	20/12/2015	1927,41983	20/01/2016	1927,42142	20/02/2016	1927,42372	20/03/2016	1927,42472
21/11/2015	1927,42533	21/12/2015	1927,41985	21/01/2016	1927,42123	21/02/2016	1927,42313	21/03/2016	1927,42421
22/11/2015	1927,42554	22/12/2015	1927,41987	22/01/2016	1927,42144	22/02/2016	1927,42344	22/03/2016	1927,42441
23/11/2015	1927,42515	23/12/2015	1927,41989	23/01/2016	1927,42165	23/02/2016	1927,42325	23/03/2016	1927,42472
24/11/2015	1927,42546	24/12/2015	1927,41982	24/01/2016	1927,42176	24/02/2016	1927,42385	24/03/2016	1927,42423
25/11/2015	1927,42527	25/12/2015	1927,41984	25/01/2016	1927,42117	25/02/2016	1927,42317	25/03/2016	1927,42414
26/11/2015	1927,42548	26/12/2015	1927,41986	26/01/2016	1927,42138	26/02/2016	1927,42338	26/03/2016	1927,42435
27/11/2015	1927,42569	27/12/2015	1927,41908	27/01/2016	1927,42159	27/02/2016	1927,42379	27/03/2016	1927,42486
28/11/2015	1927,42589	28/12/2015	1927,41981	28/01/2016	1927,42179	28/02/2016	1927,42349	28/03/2016	1927,42477
29/11/2015	1927,42568	29/12/2015	1927,41983	29/01/2016	1927,42128	29/02/2016	1927,42328	29/03/2016	1927,42428
30/11/2015	1927,42537	30/12/2015	1927,41905	30/01/2016	1927,42147			30/03/2016	1927,42449
		31/12/2015	1927,41987	31/01/2016	1927,42116			31/03/2016	1927,4246

BM Bromo

Nov-15		Des-15		Jan-16		Feb-16		Mar-16	
01/11/2015	1501,7231	01/12/2015	1501,7201	01/01/2016	1501,7214	01/02/2016	1501,7217	01/03/2016	1501,72211
02/11/2015	1501,72301	02/12/2015	1501,72031	02/01/2016	1501,72131	02/02/2016	1501,72171	02/03/2016	1501,72241
03/11/2015	1501,72352	03/12/2015	1501,72062	03/01/2016	1501,72131	03/02/2016	1501,7217	03/03/2016	1501,72252
04/11/2015	1501,72373	04/12/2015	1501,72003	04/01/2016	1501,72172	04/02/2016	1501,72175	04/03/2016	1501,72212
05/11/2015	1501,72364	05/12/2015	1501,72084	05/01/2016	1501,72192	05/02/2016	1501,72178	05/03/2016	1501,72293
06/11/2015	1501,72345	06/12/2015	1501,72045	06/01/2016	1501,72123	06/02/2016	1501,72173	06/03/2016	1501,72233
07/11/2015	1501,72366	07/12/2015	1501,72066	07/01/2016	1501,72113	07/02/2016	1501,72179	07/03/2016	1501,72294
08/11/2015	1501,72387	08/12/2015	1501,72017	08/01/2016	1501,72184	08/02/2016	1501,72171	08/03/2016	1501,72254
09/11/2015	1501,72318	09/12/2015	1501,72078	09/01/2016	1501,72104	09/02/2016	1501,7217	09/03/2016	1501,72215
10/11/2015	1501,72339	10/12/2015	1501,72039	10/01/2016	1501,72115	10/02/2016	1501,72173	10/03/2016	1501,72215
11/11/2015	1501,7235	11/12/2015	1501,7205	11/01/2016	1501,72135	11/02/2016	1501,72172	11/03/2016	1501,72226
12/11/2015	1501,7237	12/12/2015	1501,7207	12/01/2016	1501,72126	12/02/2016	1501,72172	12/03/2016	1501,72246
13/11/2015	1501,72329	13/12/2015	1501,72029	13/01/2016	1501,72196	13/02/2016	1501,72179	13/03/2016	1501,72207
14/11/2015	1501,72398	14/12/2015	1501,72098	14/01/2016	1501,72157	14/02/2016	1501,72176	14/03/2016	1501,72287
15/11/2015	1501,72377	15/12/2015	1501,72027	15/01/2016	1501,72127	15/02/2016	1501,72178	15/03/2016	1501,72208
16/11/2015	1501,72386	16/12/2015	1501,72086	16/01/2016	1501,72148	16/02/2016	1501,72176	16/03/2016	1501,72268

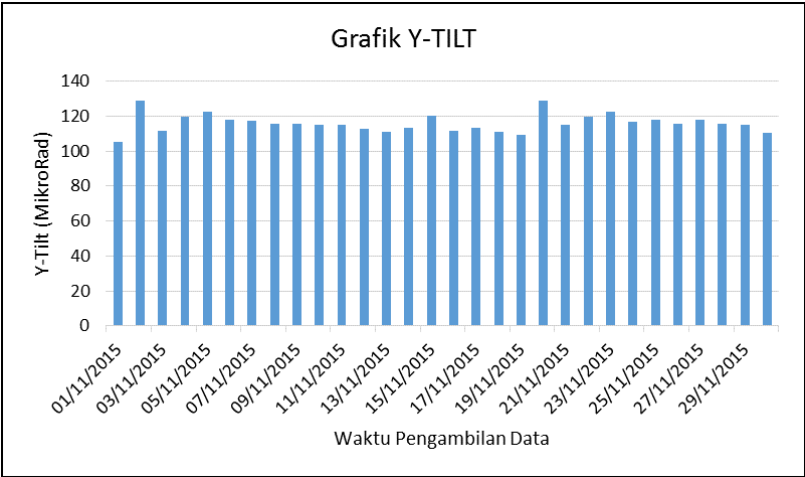
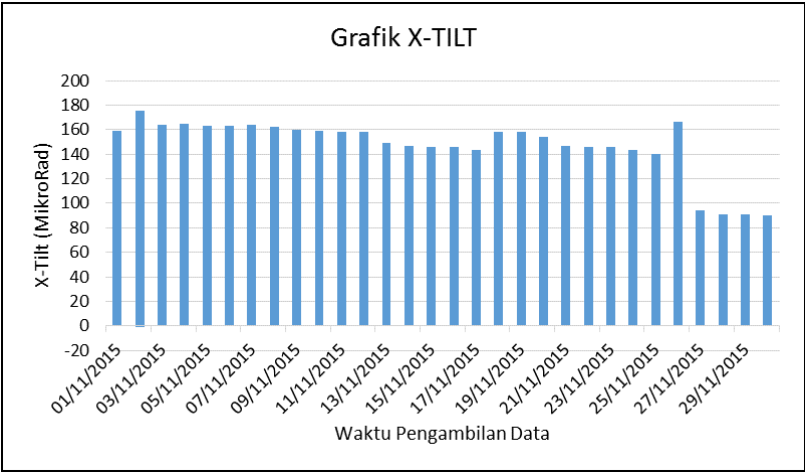
17/11/2015	1501,72355	17/12/2015	1501,72015	17/01/2016	1501,72168	17/02/2016	1501,72176	17/03/2016	1501,72279
18/11/2015	1501,72334	18/12/2015	1501,72034	18/01/2016	1501,72189	18/02/2016	1501,72174	18/03/2016	1501,72229
19/11/2015	1501,72353	19/12/2015	1501,72034	19/01/2016	1501,72119	19/02/2016	1501,72172	19/03/2016	1501,72211
20/11/2015	1501,72372	20/12/2015	1501,72072	20/01/2016	1501,7213	20/02/2016	1501,72171	20/03/2016	1501,72231
21/11/2015	1501,72321	21/12/2015	1501,72021	21/01/2016	1501,7215	21/02/2016	1501,72174	21/03/2016	1501,72222
22/11/2015	1501,7234	22/12/2015	1501,7204	22/01/2016	1501,72171	22/02/2016	1501,72175	22/03/2016	1501,72272
23/11/2015	1501,7236	23/12/2015	1501,7206	23/01/2016	1501,72121	23/02/2016	1501,72177	23/03/2016	1501,72293
24/11/2015	1501,72341	24/12/2015	1501,72081	24/01/2016	1501,72162	24/02/2016	1501,72179	24/03/2016	1501,72263
25/11/2015	1501,72312	25/12/2015	1501,72012	25/01/2016	1501,72162	25/02/2016	1501,72179	25/03/2016	1501,72274
26/11/2015	1501,72333	26/12/2015	1501,72043	26/01/2016	1501,72183	26/02/2016	1501,72175	26/03/2016	1501,72254
27/11/2015	1501,72344	27/12/2015	1501,72054	27/01/2016	1501,72173	27/02/2016	1501,72175	27/03/2016	1501,72235
28/11/2015	1501,72375	28/12/2015	1501,72075	28/01/2016	1501,72134	28/02/2016	1501,72173	28/03/2016	1501,72215
29/11/2015	1501,72326	29/12/2015	1501,72056	29/01/2016	1501,72104	29/02/2016	1501,72171	29/03/2016	1501,72226
30/11/2015	1501,72317	30/12/2015	1501,72007	30/01/2016	1501,72175			30/03/2016	1501,72246
		31/12/2015	1501,72068	31/01/2016	1501,72195			31/03/2016	1501,72267

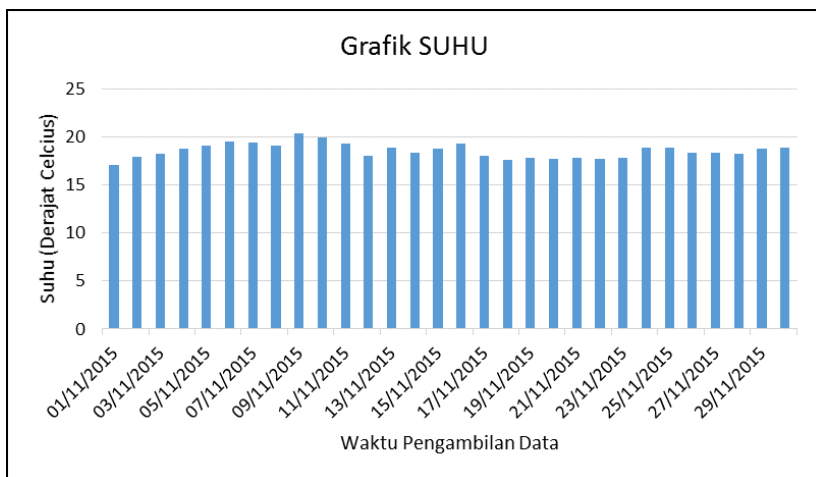
BM Kursi

Nov-15		Des-15		Jan-16		Feb-16		Mar-16	
01/11/2015	2133,7991	01/12/2015	2133,7952	01/01/2016	2133,79711	01/02/2016	2133,7981	01/03/2016	2133,7991
02/11/2015	2133,79931	02/12/2015	2133,79541	02/01/2016	2133,79721	02/02/2016	2133,7983	02/03/2016	2133,79939
03/11/2015	2133,79902	03/12/2015	2133,79513	03/01/2016	2133,79702	03/02/2016	2133,79859	03/03/2016	2133,79948
04/11/2015	2133,79973	04/12/2015	2133,79564	04/01/2016	2133,79742	04/02/2016	2133,79859	04/03/2016	2133,79907
05/11/2015	2133,79994	05/12/2015	2133,79505	05/01/2016	2133,79753	05/02/2016	2133,79808	05/03/2016	2133,79996
06/11/2015	2133,79975	06/12/2015	2133,79536	06/01/2016	2133,79703	06/02/2016	2133,79898	06/03/2016	2133,79975
07/11/2015	2133,79916	07/12/2015	2133,79527	07/01/2016	2133,79714	07/02/2016	2133,79877	07/03/2016	2133,79914
08/11/2015	2133,79957	08/12/2015	2133,79578	08/01/2016	2133,79734	08/02/2016	2133,79857	08/03/2016	2133,79953
09/11/2015	2133,79938	09/12/2015	2133,79529	09/01/2016	2133,79755	09/02/2016	2133,79816	09/03/2016	2133,79932
10/11/2015	2133,79919	10/12/2015	2133,7954	10/01/2016	2133,79715	10/02/2016	2133,79876	10/03/2016	2133,79911
11/11/2015	2133,7992	11/12/2015	2133,79559	11/01/2016	2133,79766	11/02/2016	2133,79825	11/03/2016	2133,79921
12/11/2015	2133,79949	12/12/2015	2133,79528	12/01/2016	2133,79766	12/02/2016	2133,79845	12/03/2016	2133,79942
13/11/2015	2133,79968	13/12/2015	2133,79507	13/01/2016	2133,79787	13/02/2016	2133,79834	13/03/2016	2133,79962
14/11/2015	2133,79987	14/12/2015	2133,79536	14/01/2016	2133,79798	14/02/2016	2133,79854	14/03/2016	2133,79923
15/11/2015	2133,79996	15/12/2015	2133,79555	15/01/2016	2133,79798	15/02/2016	2133,79823	15/03/2016	2133,79983
16/11/2015	2133,79925	16/12/2015	2133,79574	16/01/2016	2133,79789	16/02/2016	2133,79863	16/03/2016	2133,79954

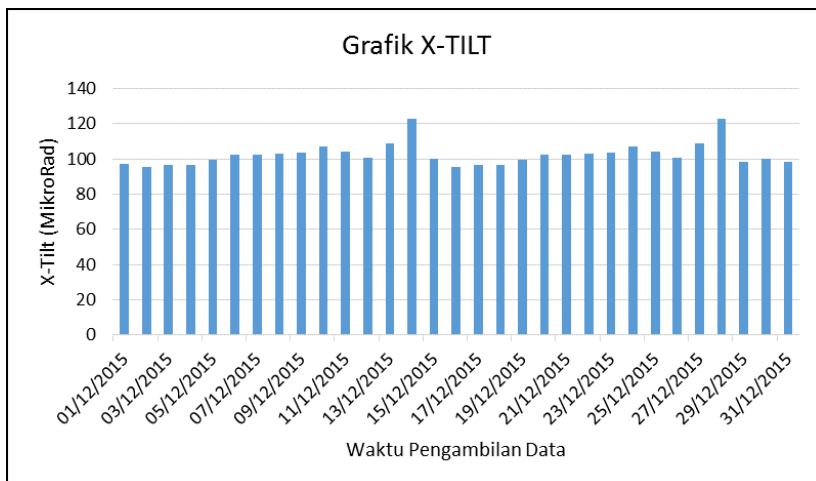
17/11/2015	2133,79964	17/12/2015	2133,79593	17/01/2016	2133,79779	17/02/2016	2133,79842	17/03/2016	2133,79944
18/11/2015	2133,79903	18/12/2015	2133,79522	18/01/2016	2133,79729	18/02/2016	2133,79822	18/03/2016	2133,79925
19/11/2015	2133,79912	19/12/2015	2133,79541	19/01/2016	2133,79779	19/02/2016	2133,79811	19/03/2016	2133,79915
20/11/2015	2133,79931	20/12/2015	2133,7956	20/01/2016	2133,79748	20/02/2016	2133,79831	20/03/2016	2133,79936
21/11/2015	2133,7995	21/12/2015	2133,79571	21/01/2016	2133,79768	21/02/2016	2133,79858	21/03/2016	2133,79936
22/11/2015	2133,79971	22/12/2015	2133,79512	22/01/2016	2133,79747	22/02/2016	2133,79839	22/03/2016	2133,79947
23/11/2015	2133,79932	23/12/2015	2133,79593	23/01/2016	2133,79707	23/02/2016	2133,79868	23/03/2016	2133,79997
24/11/2015	2133,79953	24/12/2015	2133,79584	24/01/2016	2133,79716	24/02/2016	2133,79897	24/03/2016	2133,79998
25/11/2015	2133,79974	25/12/2015	2133,79575	25/01/2016	2133,79786	25/02/2016	2133,79876	25/03/2016	2133,79978
26/11/2015	2133,79955	26/12/2015	2133,79526	26/01/2016	2133,79735	26/02/2016	2133,79855	26/03/2016	2133,79959
27/11/2015	2133,79946	27/12/2015	2133,79547	27/01/2016	2133,79775	27/02/2016	2133,79834	27/03/2016	2133,79939
28/11/2015	2133,79917	28/12/2015	2133,79508	28/01/2016	2133,79794	28/02/2016	2133,79843	28/03/2016	2133,79916
29/11/2015	2133,79928	29/12/2015	2133,79589	29/01/2016	2133,79794	29/02/2016	2133,79822	29/03/2016	2133,79929
30/11/2015	2133,79949	30/12/2015	2133,7951	30/01/2016	2133,79773			30/03/2016	2133,79948
		31/12/2015	2133,79539	31/01/2016	2133,79793			31/03/2016	2133,79947

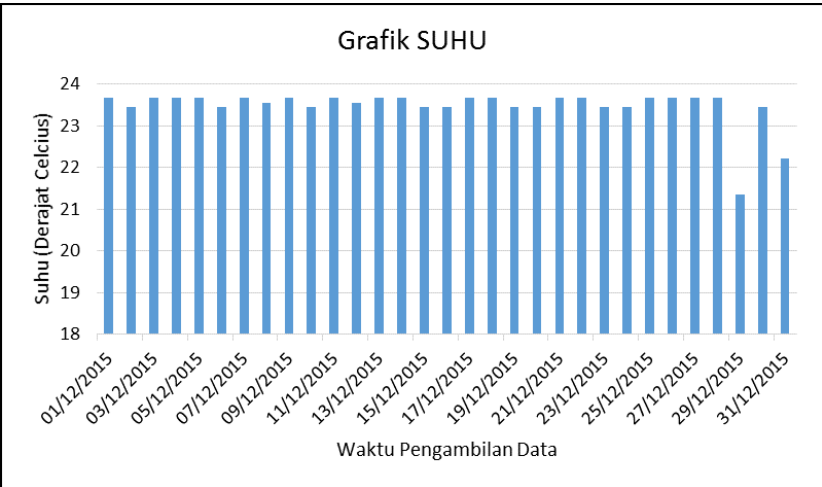
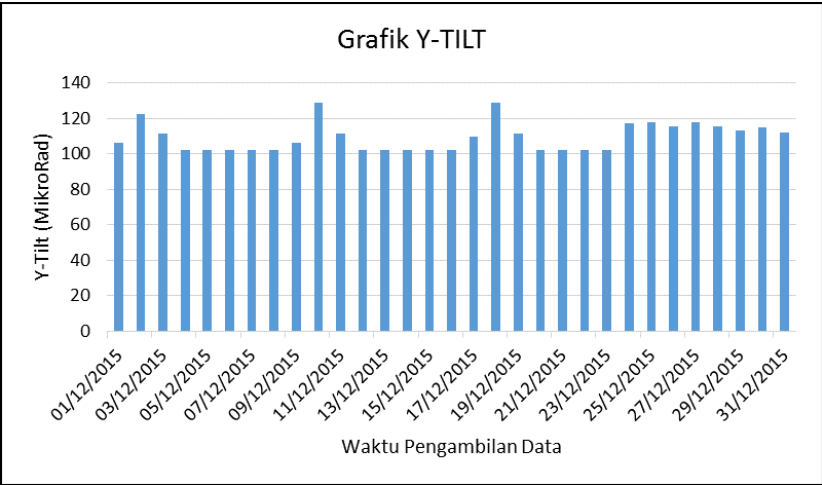
November 2015



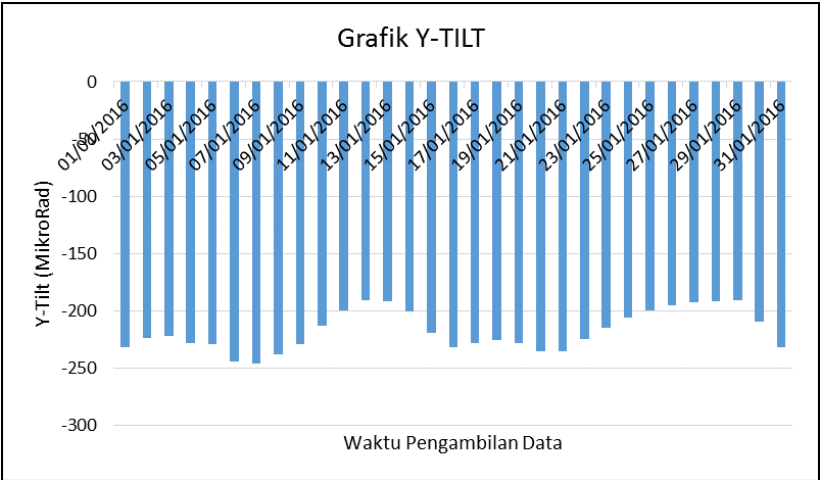
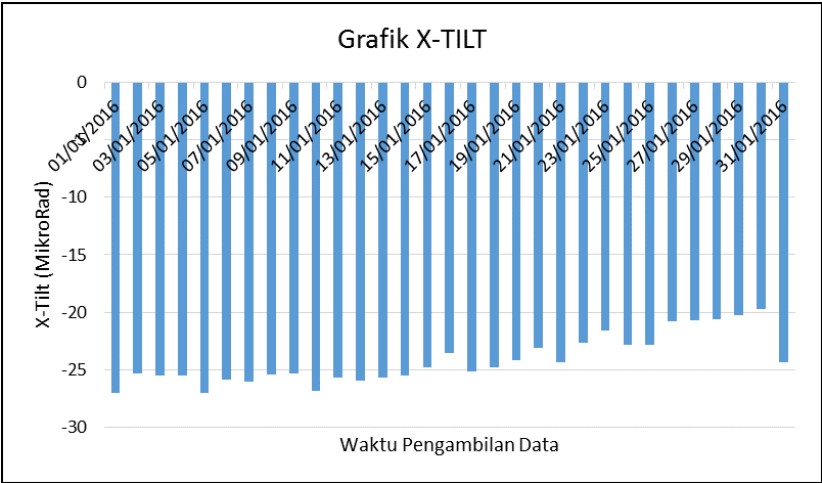


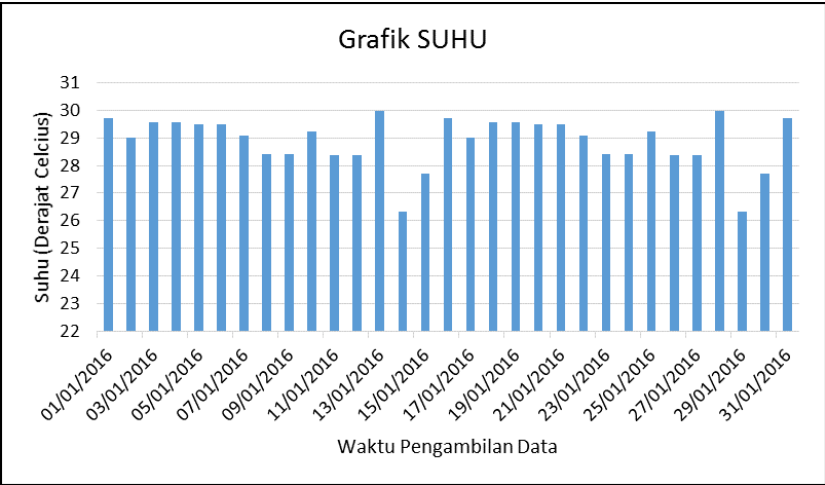
Desember 2015



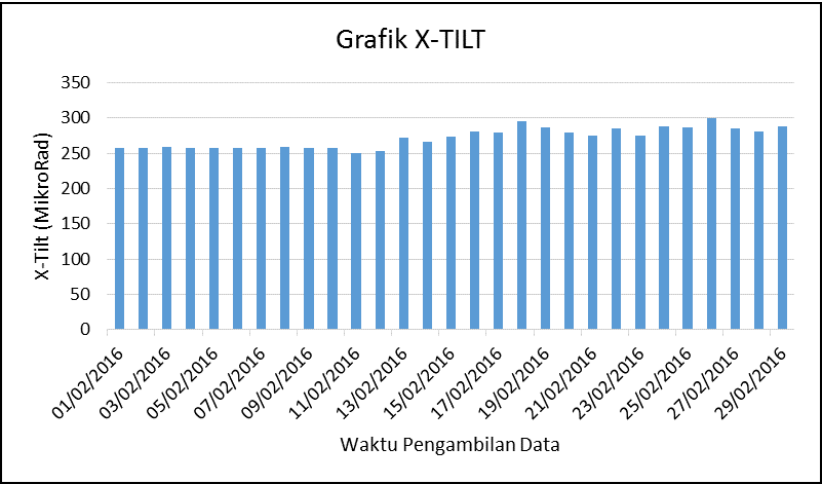


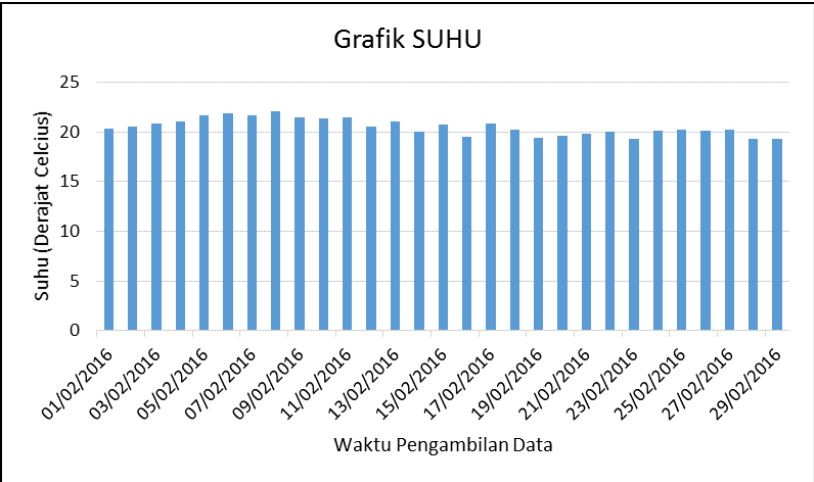
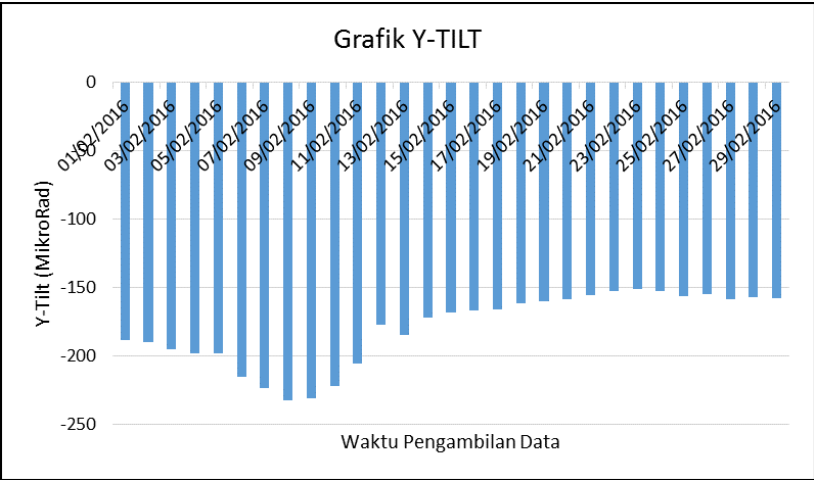
Januari 2016



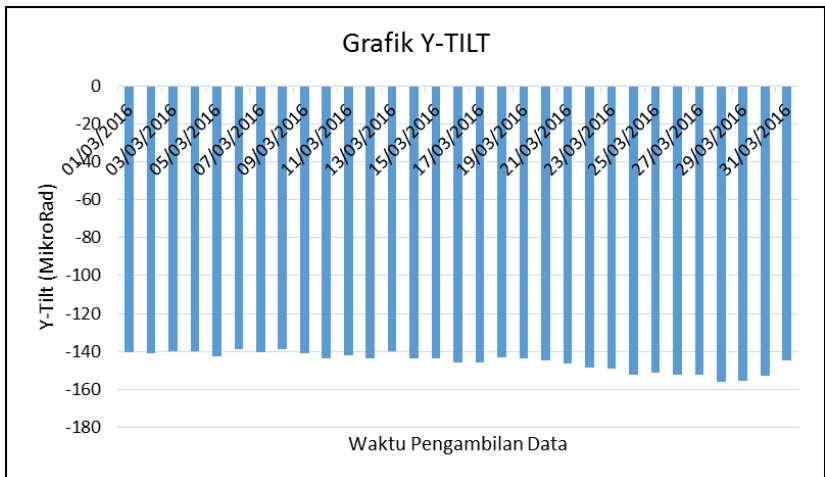
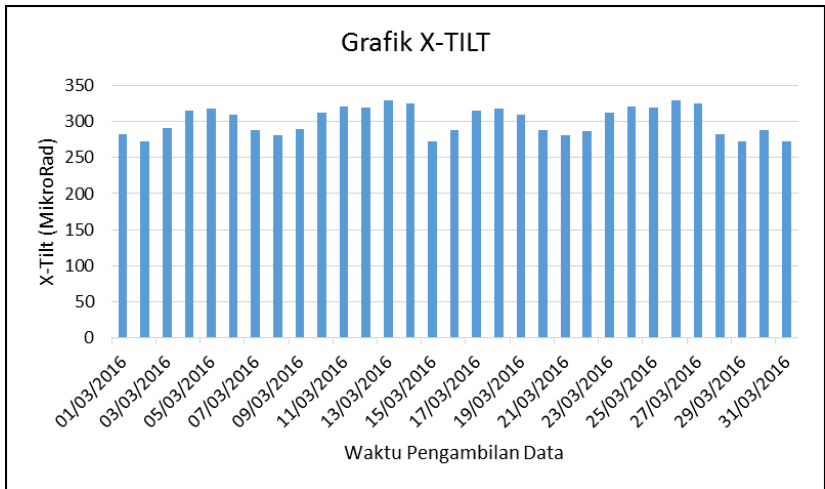


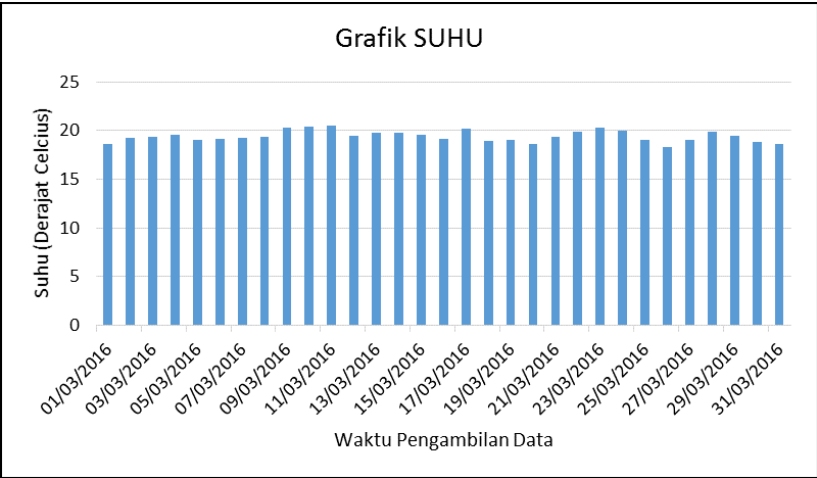
Februari 2016





Maret 2016







Penulis dilahirkan di Mojokerto, 7 April 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyah VIII, SD Negeri Kranggan 1, kemudian SMP Negeri 1 Kota Mojokerto dan SMA Negeri 10 Malang (Sampoerna Academy). Setelah lulus dari SMA memilih melanjutkan pendidikan di jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengikuti

program SBMPTN dan diterima di Teknik Geomatika – FTSP, ITS pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 03311440000071. Selama menjadi mahasiswa, penulis telah mencapai beberapa prestasi diantaranya top 40th *Essay Competition* Petrogas Days UI, top 50th *Schlumberger Women and Career Technology*, top 10th *Geospatial Innovative National Competition* UGM, Delegasi untuk ITS *Goes Global Study Excursion Singapore*, Delegasi untuk *International Conference* di Korea Selatan, dan *WomEng Unilever Leadership Fellowship*. Penulis juga aktif dalam bidang organisasi, kepanititaan, dan juga kegiatan sosial. Sebagai bentuk ketertarikannya pada geodinamika, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Analisis Deformasi Gunung Bromo Akibat Aktivitas Erupsi Pada Desember 2015 – Februari 2016 Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR)” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.